

Aus dem Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
des Bundesgesundheitsamtes Berlin

Direktor: Prof. Prof. Dr. K. Aurand

**PHYSISCHES, PSYCHISCHES UND BIO-
CHEMISCHES LÄRMWIRKUNGEN UNTER FELD-
UND LABORBEDINGUNGEN**

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Walter Klein

Oadby/Leicester (England)

1904



Druck:
Kopie Print
Unter den Eichen 57
1000 Berlin 45 - Lichterfelde-W.
Telefon 030/8 31 24 82

Aus dem Institut für Wasser-, Boden- und
Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin

Direktor: Prof. Prof. Dr. K. Aurand

PHYSISCHЕ, PSYCHISCHE UND BIOCHEMISCHE
LÄRMWIRKUNGEN UNTER FELD- UND LABORBEDINGUNGEN

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der medizinischen Doktorwürde
an den Medizinischen Fachbereichen
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Walter Klein
Oadby/ Leicester (England)

Referent: Prof. Dr. Th. Günther

Korreferent: Prof. Dr. A. Distler

Promoviert am: 20. 3. 1984

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fachbereiche der
Freien Universität Berlin

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Informationsbehinderung durch Lärm	3
1.2 Lärmreaktionen	6
1.2.1 Katecholamine	6
1.2.2 Blutdruck	9
1.2.3 Herzfrequenz	10
1.2.4 Magnesium	13
1.3 Problemstellung	17
2. Experimentelle Untersuchungen	18
2.1 Feldstudie	18
2.1.1 Auswahl der Versuchspersonen	18
2.1.2 Untersuchungsaufbau	19
2.1.3 Meßmethodik	21
2.1.3.1 Lärmempfindlichkeit	21
2.1.3.2 Psychische Befindlichkeit	22
2.1.3.3 Urinalysen	23
2.1.3.4 Blutdruck	24
2.1.3.5 Herzfrequenz	24
2.2 Laborstudien	25
2.2.1 Auswahl der Versuchspersonen	25
2.2.2 Kurzzeitlärmtest	25
2.2.2.1 Untersuchungsaufbau	25
2.2.2.2 Meßmethodik	26

II

	Seite
2.2.3 Magnesium-Studie	26
2.2.3.1 Untersuchungsaufbau	27
2.2.3.2 Meßmethodik	28
2.3 Zusammenstellung der experimentellen Untersuchungen	29
2.4 Statistik und Korrelationsanalysen	30
 3. Ergebnisse	 31
3.1 Ergebnisse der Feldstudie	31
3.1.1 Lärmempfindlichkeit	31
3.1.2 Psychische Befindlichkeit	32
3.1.2.1 Beispiele von mündlichen Äußerungen	32
3.1.2.2 Müdigkeit und psychische Gespanntheit	33
3.1.3 Urinanalysen	37
3.1.4 Blutdruck	38
3.1.5 Herzfrequenz	45
3.1.6 Korrelationsanalysen	46
3.2 Ergebnisse der Laborstudien	48
3.2.1 Kurzzeitlärmtest	48
3.2.1.1 Blutdruck	48
3.2.1.2 Korrelationsanalysen	51
3.2.2 Magnesium-Studie	52
3.2.2.1 Serum-Magnesium-Konzentration	52

III

	Seite
4. Diskussion	59
4.1 Streßreaktionen in der Feldstudie	59
4.2 Reaktionen auf Lärm im Kurzzeitlärmtest	66
4.3 Korrelationsanalysen ausgewählter Parameter	68
4.3.1 Feldstudie	68
4.3.2 Kurzzeitlärmtest	77
4.4 Vergleich Feldstudie - Kurzzeitlärmtest	80
4.5 Serum-Magnesium-Konzentration	84
5. Zusammenfassung	90
6. Literaturverzeichnis	92
7. Anhang	103

1. Einleitung

In unserer hochtechnisierten Gesellschaft ist der Faktor Streß aus nahezu keinem Lebensbereich wegzudenken.

Streß, das ist der Zustand des Organismus, der bei der Einwirkung eines inneren oder äußeren Stressors entsteht und die Summe aller nicht spezifischen biologischen Erscheinungen einschließlich Abwehr und Schädigung ausmacht. Bei einem allgemeinen Streßzustand entwickelt sich eine dreiphasige, nicht spezifische adaptive Reaktion, die ein Alarmstadium, ein Widerstands- oder Resistenzstadium und schließlich ein Erschöpfungsstadium durchläuft (Schuschke, 1981).

Zu dem großen Spektrum der inneren und äußeren Stressoren gehören, um nur einige zu nennen: Zeitdruck, Anstrengung, Schmerz, Existenzangst, Ärger, Frustration, Lärm, Kälte usw. Um die Wirkungen von Stressoren auf den Organismus zu untersuchen, hat sich als günstig erwiesen, aus der großen Anzahl der äußeren Stressoren einen herauszunehmen, der

- a) leicht meßbar, objektivierbar und reproduzierbar ist,
- b) der den Versuchspersonen bekannt ist, damit keine Schreckreaktionen bei den Untersuchungen die Ergebnisse verfälschen.

Einer der wenigen Stressoren, der diese Bedingungen erfüllt, ist Lärm. Zahlreiche Untersuchungen sind über die Wirkungen des Lärms auf den menschlichen Organismus durchgeführt worden. Eine immer wiederkehrende Frage in der Streßforschung ist, ob der Lärm langfristig zu einer extraauralen Gesundheitsgefahr werden kann, d. h. inwieweit stellt der Verkehrslärm, der für die Gesamtbevölkerung eine sehr große Bedeutung hat, einen pathogenetischen Faktor z. B. für die Hypertonie dar.

Die Hypertonie gehört zu den volksgesundheitlich wichtigsten Erkrankungen in unserem Kulturkreis. Sie ist Grundlage schwerer Folgeerkrankungen wie Herzinfarkt, apoplektischer Insult, Herz- und Niereninsuffizienz.

Nach dem Statistischen Jahrbuch für die BRD (1980) sind für die Krankheiten des Kreislaufsystems die in der Tabelle 1 aufgeführten Sterbefälle gemeldet worden; als Vergleich dazu - stellvertretend für andere Infektionskrankheiten - die Sterbefälle für Tbc, die im Gegensatz zu den Krankheiten des Kreislaufsystems rapide zurückgegangen sind.

	1968	1977	1978
	auf je 100.000 Einwohner		
Krankheiten des Kreislaufsystems	525,4	542,0	563,6
darunter ischäm. Herzkrankheiten	156,7	221,8	230,8
Tbc	10,4	4,4	4,1

Tab. 1: Sterbefälle nach ausgewählter Todesursache (Auszug)

Ähnlich wie bei der erfolgreichen Bekämpfung der Infektionskrankheiten, ist es notwendig, die Krankheiten des Kreislaufsystems zu verringern. Dazu muß man in der Streßforschung folgende Ziele verfolgen (Levi, 1976):

- das erste Ziel ist, Risikosituationen zu identifizieren,
- das zweite Ziel ist, Risikogruppen zu identifizieren, also Menschen, die in besonderer Weise verletzlich sind,
- das dritte Ziel ist, Risikoreaktionen zu identifizieren, also Reaktionen von pathogener Bedeutung.

1.1 Informationsbehinderung durch Lärm

In der Lärmwirkungsliteratur gibt es genügend Untersuchungen, die nachweisen, daß Lärm mit hohen Schalldruckpegeln negative Wirkungen auf das vegetative und endokrine System hat. Der Nachteil vieler Arbeiten ist, daß die Untersuchungsbedingungen nicht mit den "normalen" Lebensbedingungen der Bevölkerung vergleichbar sind.

Nach Schätzungen der OECD (1975), in denen typische Geräuschpegel und Bevölkerungsdichte miteinander in Beziehung gesetzt werden, sind in der BRD etwa 72/46/18 % der Bevölkerung äquivalenten Dauerschallpegeln über 55/60/65 dB(A) (Außenwerte am Tage) ausgesetzt (Jansen, 1980).

Ebenfalls sind Untersuchungen, die als Stressor die Einzelkomponente "Lärm" mit geringen Pegeln einsetzen - Ising (1977) nennt dies "eine unterkritische Belastung" - vorsichtig zu beurteilen, da ja jeder Mensch einem ganzen Spektrum von Belastungen ausgesetzt ist. Es ist daher sinnvoller, komplexere Untersuchungen durchzuführen, bei denen die Belastungssituationen während der Versuche denen im täglichen Leben nahekommen. Unter diesen praktischen Belastungssituationen sind z. B. Kommunikations- und Informationsbehinderungen durch Lärm zu verstehen.

Nach Schönpflug (1979) werden durch Lärm besonders drei psychische Tätigkeiten gestört:

- a) die Gedächtnisprozesse
- b) die Strategiebildung - Informationsspeicherung und
-reproduktion
- c) die Restitutionstätigkeit - die Erholung in den Arbeits-
pausen.

Sicherlich spielen in vielen Lebensbereichen, wo keine Informationsverarbeitung nötig ist, geringe Schalldruckpegel bezüglich der Streßreaktionen des Körpers keine wesentliche Rolle. Kommt aber eine zusätzliche Belastung hinzu, z. B. Verständigung untereinander, Unterricht usw., dann bekommt der Schall plötzlich das Attribut "unerwünscht", "störend". Aus dem Schall wird dann im Sinne von Grandjean (1977) Lärm (= unerwünschter, störender Schall).

Nach Schönpflug (1979) werden Schallereignisse erst dann zu Lärm, wenn neben Reizgegebenheiten weitere zusätzlich belastende Arbeitsbedingungen wirksam werden. Oder anders ausgedrückt: Ohne das Hinzutreten dieser weiteren Belastungsfaktoren werden keinerlei Lärmwirkungen wirksam.

Entsprechende Untersuchungen sind von Floß (1962, 1964) sowie Karsdorf und Klappach (1968) bei Schülern in belärmten Klassenzimmern durchgeführt worden. Sie fanden vermehrt Fehlleistungen, Konzentrationsschwäche und erhöhten Zeitbedarf zur Lösung der Aufgaben gegenüber Schülern in ruhigen Räumen. (vgl. Schuschke, 1981). Schuschke (1981) hat bei Messungen in Klassenzimmern einer Magdeburger Altbauschule an einer Verkehrsstraße bei geschlossenen schadhafte(n) Kastendoppelfenstern Schalldruckpegel zwischen 50 und 70 dB(AI), aus denen sich ein $L_{eq} = 51$ dB(AI) errechnete, gemessen.

Ein weiterer Faktor, der mitberücksichtigt werden muß, ist die Alltagserfahrung, daß das Ausmaß an Vertrautheit mit einer Belastung und einer Aufgabe einen Einfluß auf das Leistungsniveau sowie die Streßreaktionen hat. Wilkinson (1969) hat gezeigt, daß bei weniger Geübten im allgemeinen eher ein Leistungsabfall auftritt, als bei Geübten, wenn sie einer belastenden Situation ausgesetzt sind.

Schönpflug (1979) bestätigt dies, indem er feststellt, daß je lärmempfindlicher sich die Person einstuft, desto eher scheinen folgende Faktoren das Einprägen von Informationen

zu beeinträchtigen: Schwierige und wichtige Aufgaben, verschiedene Arbeiten im schnellen Wechsel, Ermüdung, Zeitdruck.

Grandjean (1977) betont für das Ausmaß der subjektiven Empfindung von Störung und Belästigung u. a. die psychologische Einstellung zur Lärmquelle. Eine negative Einstellung zur Lärmquelle erhöht das Ausmaß der Störung, während positive Einstellung oft keinerlei Störung aufkommen läßt.

Auch Vaitl (1980) zieht aus mehreren Experimenten den Schluß, daß erst die subjektive Situationseinschätzung eine Belastung zu Streß werden läßt, der eine massive Leistungsminderung zur Folge haben kann.

1.2 Lärmreaktionen

Im folgenden soll aus der Vielzahl von Lärmstudien an Tier und Mensch hauptsächlich über Untersuchungen berichtet werden, die sich mit Kombinationsbelastungen bei geringem Schalldruckpegel beschäftigen.

1.2.1 Katecholamine

Nach Schönpflug (1969) liefert die Bestimmung der beiden Hormone Adrenalin und Noradrenalin im Urin ein geeignetes Maß für die Aktivität der sympathischen und adrenomedullaren Systeme.

Arguelles et al. (1970) stellten eine deutliche Reaktion auf Lärm in Form einer gesteigerten Katecholaminausscheidung im Urin fest. Gruppen von Versuchspersonen, gesunde Probanden und Patienten mit essentieller Hypertonie und Herzinfarkt, wurden mit einem Sinuston von 2 kHz und einem Pegel von 90 dB beschallt, während sie Bücher oder Zeitschriften lasen. Bei allen drei Gruppen wurden signifikante Adrenalin- und Noradrenalin-Erhöhungen gemessen.

Einen Versuch unter kombinierten Belastungen führte Levi (1972) mit 33 Probanden durch. Die Versuchspersonen sollten während einer akustischen Belastung von 95 dB 2.000 Stahlkugeln nach vier verschiedenen Größen sortieren. U. a. stiegen in der belasteten Gruppe die Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung im Urin gegenüber der Kontrollgruppe signifikant an.

Carlestam et al. (1973) berichteten über Versuche an 22 jungen Datenverarbeiterinnen, von denen elf an vier Tagen aufsteigend mit 76, 82, 88 und 94 dB(C), die anderen elf absteigend

in umgekehrter Intensitätsfolge von Lärm der ihnen wohlvertrauten Datenverarbeitungsmaschinen beschallt wurden. Entgegen der Erwartung ergab sich nur ein geringer Anstieg der durch Selbsteinschätzung ermittelten Ermüdung bzw. Erschöpfung mit sehr kleinen Unterschieden zwischen niedrigstem und höchstem Pegel. Die korrespondierende Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung war niedrig oder mittelhoch und änderte sich beim Wechsel von den lärmfreien Kontroll- zu den Lärmperioden, sowie selbst von den niedrigsten zu den höchsten Schallpegeln, nicht signifikant. Die Autoren erklären daraufhin die Streßfunktionen des Lärms für fakultativ und nur für bestimmte Individuen unter bestimmten Umständen wirksam.

Tsaneva (1975) bestimmte die Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung im Urin von Übersetzern während ihrer Tätigkeit bei verschiedenen Schalldruckpegeln. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse aufgeführt.

Belastung	Adrenalin mcg/ml Urin	Noradrenalin mcg/ml Urin
Ruhe	34	244
60 dB	42	358
70 dB	73	354
85 dB	194	506

Tab. 2: Adrenalin- und Noradrenalin-ausscheidung im Urin bei Übersetzertätigkeiten in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel (Tsaneva, 1975)

Ising et al. (1980b) untersuchten Arbeiter einer Brauerei in der Flaschenabfüllanlage mit einer mittleren Lärmbelastung von 95 dB(A). Die Unterschiede zwischen den Arbeitern, die

einen Gehörschutz trugen und jenen ohne Gehörschutz, betrugen für die Vanillinmandelsäure-Ausscheidung (ein Abbauprodukt des Adrenalin und Noradrenalin) 67 % ($p = 0,013$) und für die Noradrenalin-Ausscheidung 16 % ($p = 0,05$).

Abschließend soll über die Gegenüberstellung von Adrenalin- und Noradrenalin-Ausscheidung im Urin bei physischen und psychischen Belastungen berichtet werden.

Keul und Lehmann (1980) fanden bei einer Korrelation der Adrenalin- (Ordinate) zur Noradrenalin-Ausscheidung (Abszisse) bei verschiedenen körperlichen Belastungsformen eine lineare Korrelation zwischen Adrenalin und Noradrenalin, hingegen bei psychischen Belastungen einen exponentiellen Zusammenhang, da die Noradrenalin-Ausscheidung hinter der Adrenalin-Ausscheidung zurückbleibt. Die Autoren schließen daraus, daß bei extrem emotionalen Belastungen die Noradrenalin-Ausscheidung in der Größenordnung von starken körperlichen Belastungen steht, hingegen die Adrenalin-Ausscheidung um ein Vielfaches stärker ausgeprägt ist. Es werden unter psychischen Belastungen - als Folge der Noradrenalin-, insbesondere aber der Adrenalinfreisetzung - starke Aktivierungen im kardiozirkulatorischen und metabolischen Bereich herbeigeführt, die nicht genutzt werden können, da die energetischen Umsetzungen gering sind. Die körperliche Folgereaktion (z. B. Kampf oder Flucht) ist weitgehend verlorengegangen, und die eingeleiteten Vorgänge im Organismus werden nicht genutzt, so daß sie sich unter Umständen negativ und somit krankheitsauslösend auswirken können.

1.2.2 Blutdruck

Knipschild (1977a) untersuchte in einer epidemiologischen Studie 6.000 Personen, die entsprechend der Lärmbelastung ihrer Wohnungen in zwei Gruppen mit mittleren Dauerschallpegeln von etwa 55 dB(A) bzw. 67 dB(A) eingeteilt wurden. Im lauten Wohnbereich fand Knipschild eine 50 %ige, signifikante Zunahme pathologischer Befunde im kardiovaskulären Bereich. Bei einer Zunahme des Lärms um 2,5 dB(A) stieg die Hypertonierate um 1 %, wobei als Blutdruckgrenzwert für Hypertonie systolisch 175 mm Hg und/oder diastolisch 100 mm Hg galten. Bei 55 dB(A) wurden 8% Hypertoniker und bei 67 dB(A) 16 % Hypertoniker ermittelt ($p < 0,1$ %).

In einer Längsschnittstudie über den Medikamentenkonsum werteten Knipschild und Oudshoorn (1977b) die Arzneibücher von Apotheken in zwei Gebieten mit unterschiedlicher Fluglärmentwicklung während der Jahre 1967 bis 1974 aus. Im belasteten Gebiet entwickelte sich der Fluglärm zu einer Dauerbelastung von 60 bis 75 dB(A), während das Vergleichsgebiet unter 46 dB(A) lag. Im Vergleichsgebiet zeigte sich über die Untersuchungszeit keine signifikante Änderung im Kauf blutdrucksenkender Medikamente, während im belasteten Gebiet der Kauf dieser Medikamente gegenüber den ruhigen ersten beiden Jahren um 100 % anstieg.

Die Frage, ob Verkehrslärm ein pathogenetischer Faktor bei der essentiellen Hypertonie sein kann, wurde von v. Eiff (1980a) in Form einer Fragebogenuntersuchung bearbeitet. Befragt wurden in Bonn 931 Personen zwischen 20 und 59 Jahren, die teils in verkehrsarmen (max. knapp über 50 dB(A)), teils in verkehrsreichen (66 bis 73 dB(A)) Straßen wohnten. Während keine unterschiedlichen Angaben über ärztliche Behandlung von Diabetes, Gicht, Asthma, Magen- und Zwölffingerdarmgeschwüren gemacht wurden, differierten die Angaben über Behandlung wegen Hypertonie ($p = 0,002$). In den lauten Wohngebieten gaben 22,8 %,

in dem leisen Wohngebiet 14,6 % der Befragten an, wegen Hypertonie behandelt worden zu sein. Außerdem bestand bei den 20- bis 39-jährigen Frauen und Männern in dem lauten Gebiet eine Beziehung zwischen den Angaben über Hypertoniebehandlung und der Wohndauer ($p < 0,05$).

Schulte (1977) ließ je 12 Normo- und Hypertoniker ein- und zweistellige Zahlen addieren, während einer akustischen Belastung von 81 dB(A) Verkehrslärm und fünfminütiger Dauer. Die Differenz des diastolischen und systolischen Blutdrucks zwischen Rechnen unter Lärm und Ruhe waren für Normotoniker + 8/+ 9 mm Hg, bei den Hypertonikern + 9/+ 9 mm Hg.

Ising et al. (1980a) untersuchten 57 freiwillige Testpersonen (männlich, 18 bis 34 Jahre) in einer Verkehrslärm-Laborstudie. Die Probanden arbeiteten je einen Tag bei Ruhe und bei Verkehrslärm (vom Magnetband über Lautsprecher abgespielt) mit einem Dauerschallpegel von 85 dB(A). Neben anderen Parametern wurden auch die Kreislaufparameter Pulsfrequenz und Blutdruck gemessen. Die lärmbedingte Änderung der Pulsfrequenz betrug + 2 Hz ($p < 1 \%$), des systolischen Blutdrucks + 3,4 mm Hg ($p < 1 \%$) und des diastolischen Blutdrucks + 1,8 mm Hg ($p < 0,1 \%$).

1.2.3 Herzfrequenz

Es ist bekannt, daß die Veränderungen der Herzfrequenz aufgrund der Änderungen der Frequenz der Erregungsbildung am Schrittmacher des Herzens unter dem Einfluß der sympathischen und vagalen Herznervation stattfinden. Im normalen regulatorischen Spielbereich der Herzfrequenz sind stets Vagus und Sympathikus an der Änderung der Frequenz beteiligt (Koepchen, 1972).

Sayers (1975) faßt drei Mechanismen zusammen, welche die mittlere Herzfrequenz beeinflussen können:

1. Einstellung des vagalen Tonus
2. Einstellung des sympathischen Tonus
3. Größe der Zeitverzögerung im Hirnstamm, die zwischen Eingangssignalen von den Barorezeptoren der großen Arterien und den Ausgangssignalen zum Sinusknoten auftritt.

Diese drei Möglichkeiten arbeiten zeitweise synergistisch bzw. antagonistisch. Dies führt einerseits dazu, daß Änderungen der Herzfrequenz sowohl in Richtung Zunahme als auch in Richtung Abnahme möglich sind, andererseits kann aber auch bei gleichzeitiger Einflußnahme auf gegensinnige Mechanismen gar keine Reaktion auftreten.

Klotzbücher et al. (1976) führten Fahrradergometerbelastungs-Untersuchungen an zehn männlichen Probanden im Alter von 17 bis 19 Jahren mit 20, 40, 60 oder 100 Watt über je 20 Minuten - davon 10 Minuten ohne und 10 Minuten mit Lärmeinwirkung (weißes Rauschen) von 65, 75 oder 85 dB(AI) - durch. Die Autoren fanden während reiner dynamischen Muskelarbeit unter Lärmeinwirkung keine signifikanten Veränderungen der Herzfrequenz. Für die Praxis bedeutet dies - so die Autoren -, daß Lärm bis zu einer Intensität von 85 dB(AI) bei körperlicher Arbeit am Arbeitsplatz ohne besondere Aufmerksamkeitsbeanspruchung für die Bewertung der Meßergebnisse von Energieumsatz und Herzfrequenz unberücksichtigt bleiben kann.

Frühstorfer (1980) untersuchte physiologische Reaktionen bei intermittierender Lärmbelastung. Innerhalb einer Stunde wurden den Probanden (acht männliche und sechs weibliche) 12 Lärmreize von 16 Sekunden Länge (weißes Rauschen) mit einem Schalldruckpegel von $L = 100$ dB(A) angeboten. Die Herzfrequenz ist bei dem Versuch nur durch den ersten Reiz signifikant gestiegen (im Mittel um 4,1 Schläge/min). Demgegenüber ließen sich

bezüglich der Herzfrequenz der zweite bis zwölfte Reiz nicht unterscheiden. Die Autorin wertet dies als eine Kurzzeit-Adaptation innerhalb eines Versuchstages. Eine Langzeitgewöhnung konnte aber nicht festgestellt werden.

Schönpflug (1979) ließ 64 Versuchspersonen eine simulierte Verwaltungstätigkeit unter Zeitdruck und Lärmbelastung (Verkehrslärm) von 30 bis 40, 50 bis 60 und 70 bis 80 dB(A) durchführen. Die Autoren fanden zwischen der Länge der Informationsaufnahme und der Höhe der Herzfrequenz einen korrelativen Zusammenhang von $R = + 0,39$. Bei hoher Lärmbelastung reagierten introvertierte Probanden mit einer erheblichen Steigerung der Herzrate, die über den gesamten Versuch beibehalten wurde. Extrovertierte dagegen zeigten ein anderes Verhalten: Bei ihnen sank die Herzrate. Zusammenfassend urteilten die Autoren, daß Introvertierte unter Ruhebedingungen in der Herzrate den gleichen Verlauf und das gleiche Niveau zeigen wie extrovertierte Versuchspersonen unter starker Belastung und umgekehrt.

Je nach Schalldruckpegel des Reizes fand Thackray (1975) eine unterschiedliche Reaktion der Herzfrequenz. Als Reize wurden Geräusche (Überschallknalle) mit Pegeln von 71 bzw. 81 dB verwendet. Bei 71 dB zeigten alle Versuchspersonen eine Abnahme der Frequenz, bei 81 dB dagegen eine Zunahme. Der Belästigungsgrad wurde beide Male etwa gleich eingeschätzt.

Nach Auswertung der Literatur zeigt sich insgesamt, daß die Beurteilung der Herzfrequenz-Änderung vieldeutig ist und damit gewissen Interpretationsschwierigkeiten unterliegt (Darrow, 1943).

Dieser Meinung schließt sich auch Legewie (1969) an, der anregt, folgende Einflüsse zu berücksichtigen:

1. Sympathische und parasympathische Herzzinnervation bedingt die Doppeldeutigkeit jeder Änderung

2. Kompensatorische Verlangsamung bei jeder Blutdrucksteigerung.
3. Respiratorische Arrhythmie: inspiratorische Zunahme und expiratorische Abnahme der Herzfrequenz.

1.2.4 Magnesium

Magnesium gehört als zweiwertiges Element zur Gruppe der Erdalkalimetalle und spielt bei einer Fülle intrazellulärer Reaktionen eine wichtige Rolle. Der normale Serummagnesiumspiegel liegt zwischen 0,8 und 1,1 mmol/l, der Magnesiumbedarf des Menschen pro Tag wird beim Erwachsenen mit 300 - 400 mg angegeben (Nitsche, 1975).

Mit zu den wichtigsten und interessantesten Mineralstoffwechselstörungen gehören auch die in den letzten Jahren verstärkt beobachteten Störungen im Magnesiumstoffwechsel und dem daraus hauptsächlich resultierenden Magnesiummangel.

Holtmeier (1971) unterscheidet zwischen primärem und sekundärem Magnesiummangelsyndrom. Primär können Resorptionsstörungen, endogene Faktoren, renale Störungen usw. von Bedeutung sein, während sekundär Magnesiummangel infolge Alkoholismus, magnesiumfreier oder -armer Ernährung, Infusionslösungen, verschiedener Krankheiten (Schilddrüse, Knochen, Nieren u. a.) und anderen Faktoren eintreten kann. In diesem Zusammenhang sind auch Berichte zu sehen, die eine Verbindung zwischen Wasserhärte, ischämischen Herzerkrankungen und plötzlichem Tod herstellen (Literatur in Altura, 1979).

Nach Marier (1979) zeigen Untersuchungen eine geographisch ungleichmäßige Verteilung der kardiovaskulären Mortalität und

eine negative Korrelation zur Trinkwasserhärte. Weiches Wasser enthält in aller Regel zumindestens im nördlichen Europa auch wenig Magnesium, gleichzeitig ist die Herzinfarkthäufigkeit in nördlichen Breiten größer als im Süden.

Epstein (1979) berichtet über ischämische Herzerkrankungen in Israel und stellt in Abhängigkeit von ethnischen Gruppen bzw. Geburtsorten eine unterschiedliche Herzerkrankungsrate fest. Der Autor stellt dies in Verbindung mit den verschiedenen körperlichen Aktivitäten, Rauchen und Nahrungsgewohnheiten. Hier ist möglicherweise eine unterschiedliche Magnesiumaufnahme in der Nahrung bei den vielen ethnischen Gruppen zusammen mit dem täglichen Streß von entscheidender Bedeutung für die ischämischen Herzerkrankungen.

Insgesamt wird die Mg-Versorgung der Bevölkerung in westlichen Industrienationen als suboptimal oder marginal bezeichnet (Literaturübersicht in Seelig, 1980). Unter den recht ausführlich diskutierten Magnesiummangel-Krankheiten und deren klinischer Symptome interessiert in der Streßforschung hauptsächlich, daß u. a. durch Mg-Mangel die Empfindlichkeit der Muskulatur gegenüber Katecholaminen und Kalzium erhöht wird und daß die Reaktionsbereitschaft verstärkt wird. Es kommt u. a. auch zu Blutdruckanstieg, Tachykardien, Extrasystolen, zu Zuständen vegetativer, tetanischer, psychiatrischer Syndrome, Erleichterung der Nekrose und Verkalkung in vorgeschädigten Geweben (Huismans, 1973).

Holtmeier (1972) diskutiert u. a. Gefäßspasmen bei Mg-Mangel, die offensichtlich in verschiedenen Organbereichen auftreten (zentral, peripher, koronare Gefäßspasmen) und stellt die Verbindung zwischen dem Mg-Mangel und der Arteriosklerose her. Zum Thema Mg-Mangel und Herzinfarkt hat Holtmeier (1969) ein Schema entwickelt, in dem er aufzeigt, daß Mg-Mangel - neben den schon erwähnten Komplikationen - durch Steigerung der neuromuskulären Erregbarkeit besonders der glatten Muskulatur zu schweren Gefäßkontrakturen, Rhythmusstörungen und vor allem

aber zu einer allgemeinen Hebung der Erregbarkeit gegenüber äußeren Streßbedingungen führt.

Smith (1960) beschreibt klinische Symptome einer Gruppe von 18 Patienten mit einem Magnesium-Mangel. Er stellte fest, daß alle 18 Patienten eine Hyperreflexie aufwiesen, neun Patienten eine Hypertension entwickelten und eine Patientin über eine akustische Überempfindlichkeit klagte: "... A slight tap on the bed sounded like a cannon to her and a whisper like a loud roar ...".

Da sowohl die Einzelbelastung Lärm mit hohem Pegel, als auch der alleinige Magnesium-Mangel zu deutlichen pathologischen Reaktionen führen kann, stellt sich die Frage nach der Kombinationsbelastung Magnesium-Mangel und Lärmbelastung mit geringen Pegeln.

Ising et al. (1976) stellten im Versuch an Ratten fest, daß eine relativ geringe Lärmbelastung ($L_{eq} = 80 \text{ dB(A)}$), nachts zwischen 20 und 8 Uhr, 12 Wochen) bei gleichzeitigem Mg-Mangel zu signifikanten Bindegewebsvermehrungen im Myokard - besonders im linken Ventrikel - führt. Während Mg-Mangel bzw. Beschallung allein bei den Ratten keine Veränderungen im Herzen verursachten, wirkten sich die beiden Belastungen in Kombination schädlich aus. Diese Ergebnisse deuten eine Korrelation zwischen der Bindegewebsvermehrung und der langzeitigen Katecholaminausscheidung an.

Classen (1980) stellt ebenfalls fest, daß die Mehrzahl unter Streß in der Peripherie erhöhten Hormone - also auch die Katecholamine - in entsprechenden Konzentrationen den Mg-Stoffwechsel negativ beeinflussen. Von den Katecholaminen ist bekannt, daß sie in hoher Konzentration zu einer Abnahme des intrazellulären und zu einer Erhöhung des extrazellulären Magnesiums führen. Des weiteren berichtet Classen (1980) über

eine Studie von Chutkow aus dem Jahre 1972: Bei Ratten mit einem Körpergewicht von 100 g nimmt unter einer Diät von nur 12 ppm Mg (Normalbedarf ca. 400 ppm) der Mg-Gehalt im Gehirn bereits nach zwei Tagen um über 2 % ab. Abschließend nähert sich diese Kurve einem asymptotischen Verlauf. Vom 7. Versuchstag an, also bei einer Verminderung des Hirn-Mg-Gehalts um 6 - 7 %, kam es bei den Ratten zum Auftreten der bekannten Krämpfe. Wurde ein anderes Kollektiv zusätzlich Lärm ausgesetzt, so zeigten die Tiere bereits vom 3. Tag an zu 50 % audiogene Krämpfe. Dabei war die Lärmbelastung so ausgelegt, daß sie im Geräuschpegel dem eines fließenden Wassers, einem Sturm oder dem Schellen von Türklingeln entsprach. Andere Stressoren waren wesentlich weniger wirksam; Streß z. B. durch unterschiedliche Beleuchtung war völlig unwirksam.

Wie die oben beschriebenen Arbeiten zeigen, können die Wirkungen von Lärmbelastungen durch eine marginale Magnesium-Zufuhr verstärkt werden. Dieser Gesichtspunkt ist auch bei der Diskussion neuerer epidemiologischer Studien über den Zusammenhang von Verkehrslärmbelastung und Hypertonierisiko zu beachten (Ising, 1981). Untersuchungen in den Niederlanden (Knipschild, 1977; vgl. auch 1.2.1) als auch in der BRD (v. Eiff, 1980; vgl. 1.2.1) konnten signifikante Zunahmen der Hypertonierate bei stark verkehrslärmbelasteten Bevölkerungsgruppen gegenüber wenig belasteten Vergleichsgruppen nachweisen. Andererseits fanden Albert et al. (1958) bei essentiellen Hypertonikern signifikant niedrigere Serum-Mg-Konzentrationen (um 0,1 mmol/l mit $p < 0,001$) als bei Normotonikern.

1.3 Problemstellung

Wie aus der Literaturübersicht hervorgeht, existieren bisher relativ wenig Arbeiten über vegetative und biochemische Reaktionen auf lärmbedingte Kommunikationsstörungen.

In der vorliegenden Arbeit wurden daher in einer Feldstudie Streßreaktionen an 43 Personen, die einer kombinierten akustisch-mentalenen Belastung ausgesetzt wurden (Verkehrslärm während des Unterrichts), untersucht.

Um die Frage beantworten zu können, inwieweit ein reproduzierbarer, unter Laborbedingungen stattfindender Lärmtest mit einer größeren Feldstudie vergleichbar ist, wurde mit denselben Versuchspersonen ein Kurzzeidlärmtest durchgeführt.

Zusätzlich wurden an einigen Probanden aus den beiden genannten Versuchen Lärmreaktionen eines ausgewählten biochemischen Parameters - die Serum-Magnesium-Konzentration - untersucht.

Auf folgende Fragen soll also in dieser Arbeit eingegangen werden:

- a) Diskussion ausgewählter Lärmwirkungen der Feldstudie und des Kurzzeidlärmtests
- b) Vergleich Feldstudie - Kurzzeidlärmtest
- c) Korrelationsanalysen ausgewählter Lärmwirkungsparameter
- d) Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration unter Lärm.

2. Experimentelle Untersuchungen

2.1 Feldstudie

2.1.1 Auswahl der Versuchspersonen

Die Durchführung der Feldstudie fand in der Polizeischule Berlin-Spandau statt. Den Teilnehmern eines Fortbildungslehrganges wurden die Versuchsabläufe erläutert, daraufhin erklärten sich 43 Personen freiwillig bereit, an den Untersuchungen teilzunehmen.

Einige der sich selbst als sehr lärmempfindlich bezeichnenden Polizisten, sowie an Hypertonie leidende Personen lehnten eine Teilnahme an den Untersuchungen ab, obwohl sie während der Unterrichtstage denselben akustischen Belastungen ausgesetzt waren, wie ihre an den Versuchen beteiligten Kollegen. Dadurch entstand mit hoher Wahrscheinlichkeit eine gewisse Selektion zugunsten der Lärmunempfindlichen.

Die 43 Versuchspersonen waren Männer im Alter von 24 bis 54 Jahren (Altersdurchschnitt: 41 Jahre). 6 Versuchspersonen hatten einen Ruheblutdruck der höher als 140/90 mm Hg war.

Zur Erfassung des allgemeinen Gesundheitszustandes der Probanden und um die vegetativen und biochemischen Streßreaktionen mit den medizinischen Basisdaten zu vergleichen, wurden alle 43 Versuchspersonen eingehend internistisch untersucht. Folgende medizinische Parameter wurden hierbei gemessen bzw. untersucht: Allgemeinmedizinische Untersuchung, Familien- und Eigenanamnese, Blut- und Urinalysen, EKG, Lungenfunktionsprüfung, Röntgen-Thorax, Medikamenteneinnahme. Obwohl einige medizinische Parameter außerhalb der Normbereiche lagen, mußte keine der 43 Versuchspersonen aus gesundheitlichen Gründen von den Untersuchungen ausgeschlossen werden.

2.1.2 Untersuchungsaufbau

Die Feldstudie fand - um Adaptationseffekte auszuschließen - in der zweiten Woche des 14-tägigen Fortbildungslehrganges in den Unterrichtsräumen der Polizeischule statt.

Den Kursteilnehmern wurde über Lautsprecher ein auf Tonband (UHER CG 362) aufgenommener Verkehrslärm während eines bzw. zweier Kurstage - d. h. von 8 - 14 Uhr - eingespielt. Die Probanden wurden gebeten, auch während der Pausen in den Unterrichtsräumen zu bleiben. Der Schallpegel wurde so gewählt, daß die Silbenverständlichkeit deutlich reduziert wurde, ohne die Satzverständlichkeit wesentlich zu beeinflussen. Diese Bedingungen wurden in einem ca. 50 m² großen Unterrichtsraum mit ca. 25 Personen bei einem Dauerschall-Mittelungspegel von $L_m = 60$ dB(A) erreicht. Es wurde ein "Speech Interference Level" des Störgeräusches von $SIL = 55$ dB ermittelt, woraus sich für lautes Sprechen in 3 - 6 m Entfernung vom Sprecher ein Artikulationsindex von $AI = 0,5 - 0,4$ abschätzen läßt (Kryter, 1970). Ein AI von 0,5 wird als gut bezeichnet und entspricht (nach Kryter, 1970) einer Silbenverständlichkeit von 75 %. Für $AI = 0,4$ folgt eine Silbenverständlichkeit von 65 %. Nach Slavin (aus Gruber, 1975) sind die entsprechenden Satzverständlichkeiten 99 - 98 %, nach Reichardt (1968) 90 bis 92 %.

Die 43 Probanden wurden zufällig in zwei Gruppen eingeteilt und dem in Tabelle 3 aufgeführten Versuchsablauf unterzogen.

Versuchstag	Kursthema	Verkehrslärmbelastung	
		Gruppe 1	Gruppe 2
1. - Eingewöhnungs- tag	Eingriffs- recht	ohne Lärm	ohne Lärm
2. - Lärmtag 1		50 dB(A)	ausgefallen
3. - Kontrolltag bzw. Lärmtag 2	Schußwaffen- gebrauch	ohne Lärm	60 dB(A)
4. - Lärmtag 2 bzw. Kontrolltag		60 dB(A)	ohne Lärm

Tabelle 3: Ablauf der experimentellen Untersuchungen
der Feldstudie

Wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, wurden die Untersuchungsbedingungen am 3. bzw. 4. Versuchstag vertauscht, um Reihungseffekte auszuschließen.

Um Aussagen über die Wirkungen des Verkehrslärms sowie des Kursthemawechsels auf ausgewählte vegetative Funktionen und biochemische Parameter zu erhalten, wurden in dieser Arbeit folgende Versuchstage (VT) miteinander verglichen:

a) Beeinflussung durch Verkehrslärm

1. VT/2. VT (50 dB(A), nur Gruppe 1)
3. VT/4. VT (60 dB(A), Gr. 1 und 2)

b) Beeinflussung durch Kursthemawechsel
(Eingriffsrecht - Schußwaffengebrauch)

1. VT/3. VT (Gruppe 1)
2. VT/4. VT (Gruppe 2).

2.1.3 Meßmethodik

Am Morgen des 1. Versuchstages wurde allen Probanden eine Blutprobe abgenommen und im Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes analysiert. Ein Beispiel des Laborberichtes mit den für die Korrelationsanalysen (vgl. Abschnitt 2.4) untersuchten Blutparamter ist im Anhang (Anlage 1) angegeben.

Zusätzlich wurden aus dieser Blutprobe die Erythrozyten-Konzentration von Calcium, Kalium, Natrium und Magnesium bestimmt, sowie die Magnesium-Serum-Konzentration ermittelt (Methode in Ising et al., 1980b).

2.1.3.1 Lärmempfindlichkeit

Zur Erfassung der subjektiven Lärmempfindlichkeit aller 43 Probanden wurde den Versuchspersonen am ersten Versuchstag ein Fragebogen vorgelegt, der einmalig beantwortet wurde. Die Testpersonen sollten sich durch Zustimmung ("ja") oder Ablehnung ("nein") zu verschiedenen Statements bezüglich ihrer Einstellungen und Erfahrungen mit Lärm einordnen. "Richtige" Antworten (in Richtung erhöhter Lärmempfindlichkeit) wurden mit 2, "falsche" Antworten mit 1 codiert.

Der Lärmempfindlichkeitsfragebogen ist eine Weiterentwicklung gegenüber dem in früheren Untersuchungen, Markert et al. (1981), verwandten. Dort hatten sich die benutzten Statements zur Unterscheidung von Versuchspersonen bezüglich der Dimension Lärmunempfindlichkeit versus Lärmempfindlichkeit bereits bewährt. Es wurde angenommen, daß der so entwickelte Frage-

bogen als informeller Niveautest hinreichend valid ist, obwohl eine Prüfung an einem Außenkriterium bisher nicht erfolgt ist.

Der den Probanden vorgelegte Fragebogen umfaßte 15 Statements, von denen 8 zur Ermittlung der individuellen Testkennwerte herangezogen wurden. Die Kriterien, nach denen die Aufgaben-selektion erfolgte und die verwendeten Statements und Trennschärfekoeffizienten sind im Anhang (Anlage 2) angegeben.

2.1.3.2 Psychische Befindlichkeit

Die psychische Befindlichkeit der Probanden unter den verschiedenen Versuchsbedingungen wurde mittags mittels Fragebogen erhoben. Hierbei wurde nach Thayer (1978) zwischen zwei Dimensionen der Aktiviertheit unterschieden. Die erste umfaßt etwa die Pole "Müdigkeit versus körperliche Frische", die zweite die Pole "Ausgeglichenheit versus psychische Gespanntheit".

Der Fragebogen ist durch Übersetzung der aus dem Englischen von Thayer faktorenanalytisch untersuchten "Adjective List" entstanden. Auf psycholinguistische Feinheiten wurde besonders geachtet, um Validitätseinbußen möglichst gering zu halten.

Der den Versuchspersonen vorgelegte Fragebogen bestand aus einer Liste von je acht Adjektiven zu den beiden Dimensionen, die gemischt angeordnet waren. Die Probanden sollten ihr augenblickliches Empfinden jeweils anhand einer fünfstufigen Skala beschreiben, die von Rohrmann (1978) hinsichtlich Äquidistanz benachbarter Kategorien untersucht worden war.

Die Codierung erfolgte so, daß eine Versuchsperson mit einem hohen Grad an Aktiviertheit einen hohen Skalenwert aufwies und umgekehrt. Für die Ermittlung der individuellen Testkennwerte wurden für die erste Aktiviertheitsdimension (kurz: Müdigkeit) acht und für die zweite (kurz: psychische Gespanntheit) sechs Adjektive als Testaufgabe belassen.

Die Aufgabenselektion erfolgte nur nach dem Trennschärfekriterium, da eine Vorselektion nach Schwierigkeitsindizes wegen der Mehrstufigkeit der Antwortmöglichkeiten entfiel. Es wurden zu jeder Dimension diejenigen Adjektive beibehalten, die sowohl unter Kontroll- als auch unter der Lärmbedingung einen Trennschärfekoeffizienten von wenigstens 0,5 aufwiesen. Die Trennschärfekoeffizienten wurden als Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten bestimmt. Im Anhang (Anlage 3) sind die zur Bildung der Testkennwerte verbliebenen Adjektive aufgelistet. Zusätzlich sind die Trennschärfekoeffizienten unter den Kontroll- und den Lärmbedingungen (60 dB(A)) angegeben.

2,1.3.3 Urinanalysen

An dem genannten 3. bzw. 4. Unterrichtstag wurde von jeder Versuchsperson der Urin gesammelt, aus dem folgende Parameter bestimmt wurden: Calcium, Magnesium, Adrenalin, Noradrenalin und c-AMP (Methoden vgl. Ising et al., 1980b).

2.1.3.4 Blutdruck

Die Blutdruckmessungen erfolgten mit einem halbautomatischen Gerät Stereocard der Fa. Dr. Lange, Berlin, das mit einer Umschaltteinrichtung für vier Blutdruckmanschetten versehen war. Die Messungen fanden unter einer oszillographischen Kontrolle der Korotkoff-Signale statt (vgl. Anhang, Anlage 4).

Insgesamt wurde bei jeder Versuchsperson während des Unterrichts (in der Zeit von 8 bis 14 Uhr) in etwas mehr als einstündigem Abstand fünfmal der systolische und diastolische Blutdruck gemessen, wobei jeder Blutdruckwert aus mindestens drei Einzelmessungen gemittelt wurde.

2.1.3.5 Herzfrequenz

Parallel zu den Blutdruckmessungen wurden ebenfalls mit dem halbautomatischen Gerät Stereocard und einem elektronischen Mittelwertrechner (Fa. BMT) die Herzfrequenz während des Versuchstages fünfmal gemessen.

2.2 Laborstudien

2.2.1 Auswahl der Versuchspersonen

Die Versuchspersonen (Vpn) für alle drei durchgeführten Laborstudien wurden aus den 43 Teilnehmern der Feldstudie zufällig ausgewählt.

2.2.2 Kurzzeitlärmtest

2.2.2.1 Untersuchungsaufbau

Die Versuche fanden in einem kleinen Raum statt, in dem sich nur die Versuchsperson befand. Die Vpn waren zuvor über den Ablauf des Kurzzeitlärmtestes eingehend informiert worden. Nach Anlegen der Blutdruckmanschette und der Kopfhörer (Beyer - DT 48S 5Ω) wurde die Vp gebeten, auf einem bequemen Stuhl Platz zu nehmen und sich zu entspannen.

Der Versuch begann mit einer fünfminütigen Ruhephase, der dann eine ebenfalls fünfminütige Lärmphase - intermittierendes 100 dB(A) weißes Rauschen - folgte. Um Schreckreaktionen möglichst auszuschalten, war der Lärmreiz über 3 bis 4 Sekunden einschleichend. Für das weiße Rauschen wurde der Random Noise Generator Type 1402 der Fa. Brüel & Kjaer, Kopenhagen, verwendet.

2.2.2.2 Meßmethodik

Wie im Feldversuch, wurde mit Hilfe des halbautomatischen Blutdruckmeßgerätes am Anfang und am Ende sowohl der Ruhe- als auch der Lärmphase der systolische und diastolische Blutdruck gemessen. Jeder Blutdruckwert bestand aus mindestens drei Einzelmessungen, aus denen ein Mittelwert gebildet wurde. Durch Mittelung der Anfangs- und Endruhewerte wurde nur ein Gesamtruhewert gebildet, auf den sich jeweils der Lärm-anfangswert und Lärmendwert beziehen.

2.2.3 Magnesium-Studie

Um Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration unter verschiedenen Belastungen ermitteln zu können, wurden zwei Untersuchungsreihen durchgeführt.

In der Untersuchungsreihe I bestanden die Belastungen aus einem akustischen Reiz (weißes Rauschen) und einer körperlichen Tätigkeit (Fahrradergometer).

In der Untersuchungsreihe II wurden die Probanden mit einem unterschiedlichen akustischen Reiz (Motorradrennen) allein belastet.

2.2.3.1 Untersuchungsaufbau

Untersuchungsreihe I:

An dieser Studie nahmen sieben Vpn aus der Feldstudie teil. Der Versuch fand in einem Raum statt, in dem sich außer der Vp nur der Versuchsleiter befand. Zu Beginn des Versuches wurden die Probanden über den Untersuchungsablauf eingehend informiert. Die Versuchsperson nahm Platz in einem Armstuhl, eine Venenverweilkanüle (Braunüle^R, Fa. B. Braun) wurde in eine Vene des linken Armes geschoben und Kopfhörer aufgesetzt.

Nach fünfminütiger Ruhe (Ruhe 1) wurden die Probanden über Kopfhörer (Beyer, DT 485) zehn Minuten mit 110 dB(A) weißem Rauschen (Random Noise Generator Type 1402, B & K Kopenhagen) beschallt. Um Schreckreaktionen zu vermeiden, wurde der Schallpegel über 3 bis 4 Sekunden langsam erhöht. Nach abermaliger fünfminütiger Ruhe (Ruhe 2) setzte sich die Versuchsperson auf das Fahrradergometer (Mikrocomputergesteuertes Ergometer Dynavit Meditronic 40, Fa. Hellige) und wurde zehn Minuten bei einer Leistung von 50 Watt belastet. Der Versuch endete mit einer fünfminütigen Ruhephase (Ruhe 3).

Untersuchungsreihe II:

An diesem Versuch nahmen zehn Vpn aus der Feldstudie teil. Die Vp wurde gebeten, auf einer Liege Platz zu nehmen, es wurden Kopfhörer angelegt und eine Venenverweilkanüle geschoben. Die Vp wurde gebeten, ruhig zu liegen und die Augen geschlossen zu halten.

Nach einer Anfangsruhe von fünf Minuten wurde die Vp mit einem vom Tonband (UHER CG 362) abgespielten Motorradrennen (Avusrennen in Berlin) mit einem äquivalenten Dauerschallpegel von 110 dB(A) für die Dauer von zehn Minuten beschallt.

Um Schreckreaktionen zu vermeiden, wurde der Schallpegel einschleichend über 3 bis 4 Sekunden erhöht. Nach dieser Beschallung erfolgte eine zehnminütige Endruhe.

2.2.3.2 Meßmethodik

Untersuchungsreihe I:

Die Blutproben wurden mit einem heparinisierten Vakuum-Röhrchen (Vacutainer^R, Fa. Becton, Dickinson) in folgenden Abständen entnommen:

Ruhe 1:	in der 1. und 5. Minute
Lärmphase:	jede 2. Minute
Ruhe 2, Ergometriephase, Ruhe 3:	jede 5. Minute.

Die Serum-Magnesium-Konzentrationen wurden nach der in Ising et al. (1980b) angegebenen Methode bestimmt.

Untersuchungsreihe II:

Die Blutproben wurden ebenfalls mit einem Vacutainer^R - sowohl in den Ruhephasen als auch in der Lärmphase - jede 2. Minute abgenommen.

2.3 Zusammenstellung der experimentellen Untersuchungen

Eine Übersicht über die erfolgten Versuche ist in der Tabelle 4 angegeben.

Versuch	Versuchs- ablauf	Belastung der Vpn	gemessene Paramter	Anzahl der Vpn
Feldstudie	Verkehrslärm während des Unterrichts 6,0 h	Unterricht 50 dB(A)	Lärmempf. Psych. Be- findlichk.	19
		60 dB(A)	Urin- und Blutanalyse Herzfrequenz systol. und diastol. RR	43
Kurzzeit- lärmtest	Ruhe 5 min Lärm 5 min	weißes Rauschen 100 dB(A)	systol. und diastol. Blutdruck	41
Magnesium- Studie				
Unters.- Reihe I	Ruhe 5 min	weißes Rauschen 110 dB(A)	Serum-Mg- Konzentra- tion	7
	Lärm 10 min			
	Ruhe 5 min			
	Ergo 10 min	Ergometer 50 Watt		
	Ruhe 5 min			
Unters.- Reihe II	Ruhe 5 min	Motorrad- rennen 110 dB(A)	Serum-Mg- Konzentra- tion	10
	Lärm 10 min			
	Ruhe 10 min			

Tabelle 4: Zusammenstellung der experimentellen Untersuchungen

2.4 Statistik und Korrelationsanalyse

Mit dem verteilungsunabhängigen Wilcoxon-Test für Paardifferenzen wurden Unterschiede im Gruppenmittel der unter Lärm- und Kontrollbedingungen erhobenen Wirkungsparameter auf statistische Signifikanz hin getestet.

Durch Rangkorrelation nach Spearman wurden Zusammenhänge der Änderungen dieser Parameter untereinander, sowie mit den Daten der medizinischen Basisuntersuchungen, der Blutanalyse und der Lärmempfindlichkeit korrelationsanalytisch untersucht. Bei den Korrelationsanalysen schwankten aufgrund von Meßausfällen die Stichprobenumfänge zwischen 32 und 43 Versuchspersonen.

Zur Kenntlichmachung signifikanter Ergebnisse werden in den Tabellen drei Signifikanzniveaus unterschieden:

+ : $p < 5\%$, ++ : $p < 1\%$, +++ : $p < 0,1\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit. Die im folgenden angegebenen statistischen Signifikanzen genügen sofern nichts anders vermerkt, der zweiseitigen Fragestellung. Angaben in Klammern - z. B. (+) - kennzeichnen Ergebnisse, die nur bei einseitiger Fragestellung statistisch signifikant sind.

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Feldstudie

3.1.1 Lärmempfindlichkeit

Auf der Basis des Lärmempfindlichkeits-Fragebogens wurde eine Verteilung der subjektiven Lärmempfindlichkeit für alle 43 Versuchspersonen erstellt. Die Verteilung der Probanden über der Lärmempfindlichkeit ist in Abbildung 1 dargestellt.

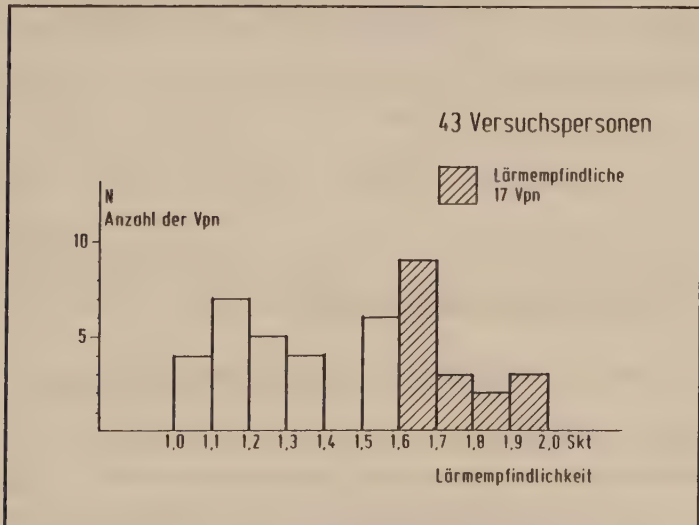


Abb. 1: Verteilung der Versuchspersonen über der Lärmempfindlichkeit

Aus der Abbildung 1 ist zu entnehmen, daß sich aus dem Gesamtkollektiv vier Vpn als am wenigsten lärmempfindlich (1,0 Skt auf der Abszisse) und drei als am meisten lärmempfindlich (2,0 Skt) einschätzen.

Mit Hilfe der Verteilung in Abbildung 1 wurde eine lärmempfindliche Untergruppe gebildet, um für diese Versuchspersonen - parallel zur Gesamtgruppe - getrennte analoge Analysen durchführen zu können. Zwei Bedingungen sollten für die lärmempfindliche Untergruppe gelten:

- eine genügend große Anzahl der Vpn
- die Vpn sollten einen "Lärmempfindlichkeits-Wert" nahe 2,0 Skt besitzen.

In die lärmempfindliche Gruppe wurden daher diejenigen Vpn genommen, die auf der Lärmempfindlichkeits-Skala einen Wert von 1,6 Skt überschritten (in Abb. 1 schraffiert). In diese Gruppe kamen 17 Probanden; der Stichprobenumfang ist damit hinreichend groß, um signifikante Ergebnisse nachweisen zu können.

3.1.2 Psychische Befindlichkeit

3.1.2.1 Beispiele von mündlichen Äußerungen

Am letzten Versuchstag wurden einige Kursteilnehmer über die Eindrücke von den vergangenen Lärmtagen befragt. Einige typische wörtliche Äußerungen sollen die grundsätzliche Haltung der Versuchspersonen dokumentieren:

"Als der Lärm um 8 Uhr abrupt eingeschaltet wurde, muß man sagen, bis man sich daran gewöhnt hatte, so ungefähr 20 Minuten, war er stark störend. Dann hat man sich bis zum Mittag daran gewöhnt gehabt, da war es nicht allzu schwierig, dem Unterricht zu folgen. Aber ab Mittag war Schluß, da ist es wieder schwerer gewesen."

Dieser zeitliche Verlauf der Störung durch den Lärm wird von vielen in abgewandelten Formulierungen ebenfalls geäußert.

"Vor allem diese Monotonie, ewig dieselben Geräusche ..., das war ab Mittag sehr störend."

"Der Lehrer war zeitweilig schlecht zu verstehen."

Die Umstehenden schließen sich diesen Äußerungen spontan an:

"Am Schluß hat mir nachher der Kopf gedröhnt."

"Zur Mitte des Unterrichts habe ich dann gemerkt, daß ich leichte Kopfschmerzen davon bekommen habe."

Auf die Frage nach der Minderung ihrer Aufnahmefähigkeit, antworteten die meisten mit "50 Prozent".

"So gegen 11 Uhr hat man sich daran gewöhnt."

"Mich hat es nur gestört, als wir hier nach Schnelligkeit, also nach Zeit schreiben mußten, und wenn die Manschette dann plötzlich aufgeblasen wurde. Man wird dann doch abgelenkt. Man hat dann typische Fehler gemacht."

3.1.2.2 Müdigkeit und psychische Gespanntheit.

Die Gruppenmittelwertsunterschiede der Parameter Müdigkeit und psychische Gespanntheit in Abhängigkeit von der Belastung sind in Tabelle 5 angegeben.

Verkehrslärm- belastung	Müdigkeit (Skt)	psychische Gespanntheit	Anzahl der Vpn
60 dB(A)	+ 0,9 ^{+++ 1)}	+ 0,6 ^{+++ 1)}	42
	+ 0,9 ⁺⁺⁺	+ 1,0 ⁺⁺⁺	17 ²⁾
50 dB(A)	+ 0,4	0,0	19
ohne Lärm Kursthemawechsel	+ 0,3	+ 0,2 ⁺	40

1) auf 5-stufiger Skala

2) lärmempfindliche Untergruppe

+ : $p < 0,05$; ++ : $p < 0,01$; +++ : $p < 0,001$

Tab. 5: Änderungen der psychischen Befindlichkeit während des Unterrichts unter Lärmbelastung bzw. Kursthemawechsel

Sowohl bei der Müdigkeit, als auch bei der psychischen Gespanntheit, sind die Unterschiede zwischen Lärmtag 2 (60 dB(A)) und Kontrolltag sehr deutlich. Beide Parameter haben signifikant ($p < 0,001$) stark zugenommen. Bei der lärmempfindlichen Untergruppe steigt sogar die psychische Gespanntheit auf + 1,0 Skt.

Beim Vergleich zwischen Lärmtag 1 (50 dB(A)) und Eingewöhnungstag sind keine signifikanten Unterschiede festzustellen; dagegen ist der Unterschied der psychischen Gespanntheit zwischen Eingewöhnungstag und Kontrolltag, d. h. Einfluß des Kursthemas "Schußwaffengebrauch" ohne Lärmbelastung, gering signifikant ($p < 0,05$).

Die Häufigkeitsverteilungen der lärmbedingten (60 dB(A)) Änderungen der psychischen Parameter sind in der Abbildung 2 dargestellt. Ohne Lärmeinfluß läge die Verteilung symmetrisch um 0. Die Verschiebung nach positiven Werten zeigt den psychischen Effekt des Lärms. Die lärmempfindliche Untergruppe ist durch Schraffur gekennzeichnet.

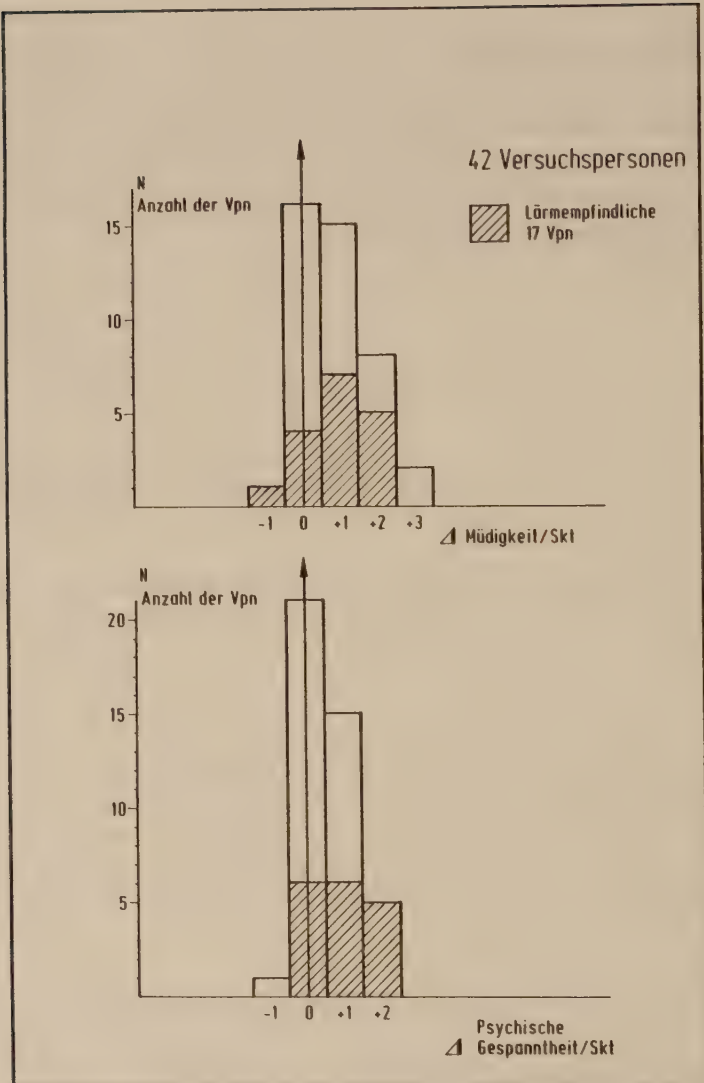


Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen der lärmbedingten (60 dB(A)) Änderungen der psychischen Parameter

3.1.3 Urinanalysen

Der einzige Parameter, der signifikante Unterschiede aufwies, war Noradrenalin (NA - bezogen auf Kreatinin) beim Vergleich des Lärmtages 2 (60 dB(A)) mit dem Kontrolltag. Die lärmbedingten Unterschiede betrugen:

$\Delta \text{NA} = + 10,0 \%^{++}$ für die Gesamtgruppe, 41 Vpn

$\Delta \text{NA} = + 9,1 \%$ für die lärmempfindliche Untergruppe, 17 Vpn.

Die Häufigkeitsverteilungen der lärmbedingten Änderungen der Noradrenalinausscheidung sind in der Abbildung 3 dargestellt.

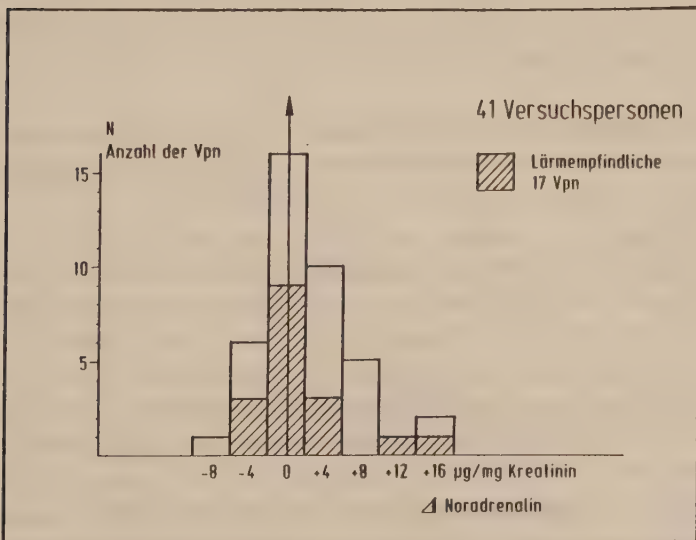


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der lärmbedingten (60 dB(A)) Änderungen der Noradrenalinausscheidung

3.1.4 Blutdruck

Die Ergebnisse der Blutdruckänderungen werden in dieser Arbeit auf zweierlei Arten angegeben.

Einmal werden sowohl die systolischen als auch die diastolischen Blutdruckänderungen als Gruppenmittelwertunterschiede aufgeführt. Die Problematik dieser informationsverdeckenden Mittelwertbildung wird hierbei gesehen; doch da in der bisherigen Lärmwirkungsliteratur stets die Blutdruckänderungen als Gruppenmittelwerte angegeben worden sind, ist es zum besseren Vergleich der Ergebnisse untereinander günstig, diesen Mittelwert auch anzugeben.

Gleichzeitig werden aber die Ergebnisse der Blutdruckänderungen als Häufigkeitsverteilungen angegeben, aus denen differenziert erkennbar ist, wieviel Versuchspersonen auf die Kommunikationsstörung durch Lärm mit einem Blutdruckanstieg bzw. einem Blutdruckabfall reagiert haben.

Die Gruppenmittelwertunterschiede der systolischen und diastolischen Blutdruckänderungen in Abhängigkeit von der Belastung sind in der Tabelle 6 angegeben.

Deutlich signifikante Blutdruckreaktionen treten bei der Belastung mit 60 dB(A) auf; bei der lärmempfindlichen Untergruppe sind die lärmbedingten Änderungen noch größer.

Die Wirkungen des 50 dB(A)-Verkehrslärms während des Unterrichts auf den Blutdruck erbrachten keinen signifikanten Unterschied. Die Änderungen sind gering und liegen im Bereich der individuellen Schwankungen. Allerdings wurden hier nur 19 Vpn untersucht.

Beim Vergleich der Blutdruckreaktionen zwischen dem Eingewöhnungstag und dem Kontrolltag wurden ebenfalls deutliche signifikante Unterschiede festgestellt. An beiden Kurstagen wurden die Lehrgangsteilnehmer nicht durch Verkehrslärm gestört; der Unterschied zwischen den beiden Tagen bestand in zwei grundverschiedenen Lehrgangsthemen. Am Eingewöhnungstag wurde das Thema "Eingriffsrecht", am Kontrolltag "Schußwaffengebrauch" behandelt.

Verkehrslärm- belastung 6,0 h	Blutdruckänderung systol. diastol. mm Hg		Anzahl der Vpn
60 dB(A)	+ 1,7 ⁺	+ 1,2 ⁺	42
	+ 3,5 ⁺⁺	+ 2,0 ⁺	17 ¹⁾
50 dB(A)	+ 1,4	+ 0,3	19
ohne Lärm Kursthemawechsel	+ 2,0 ⁺	+ 1,5 ⁺	39

¹⁾ lärmempfindliche Untergruppe

Tabelle 6: Änderungen des Blutdrucks während des Unterrichts unter Lärmbelastung bzw. Kursthemawechsel

Die Häufigkeitsverteilungen der Blutdruckänderungen in Abhängigkeit von der Lärmbelastung bzw. vom Kursthemawechsel sind in den Abbildungen 4, 5 und 6 dargestellt.

Aus der Abbildung 4 sind die signifikanten Anstiege des Blutdrucks bei Unterricht mit 60 dB(A)-Verkehrslärm, bezogen auf ungestörten Unterricht anhand der deutlichen Verschiebung der Verteilung nach rechts, zu erkennen. Bei 21 Vpn änderte sich der systolische Blutdruck um weniger als 4,5 mm Hg,

fünf Probanden reagierten mit einem Blutdruckabfall von 4,5 mm Hg und mehr und bei 15 Kursteilnehmern stieg der systolische Blutdruck um mehr als 4,5 mm Hg im Tagesmittel. Bei drei Vpn betrugen die höchsten Blutdruckänderungen im Mittel sogar 12 bzw. 15 mm Hg.

Die Anstiege des systolischen und diastolischen Blutdruckes sind bei der lärmempfindlichen Untergruppe noch größer. Durch eine weitere Verschiebung der schraffiert eingetragenen Häufigkeitsverteilung zu den positiven Differenzen wird dies in Abb. 4 deutlich sichtbar.

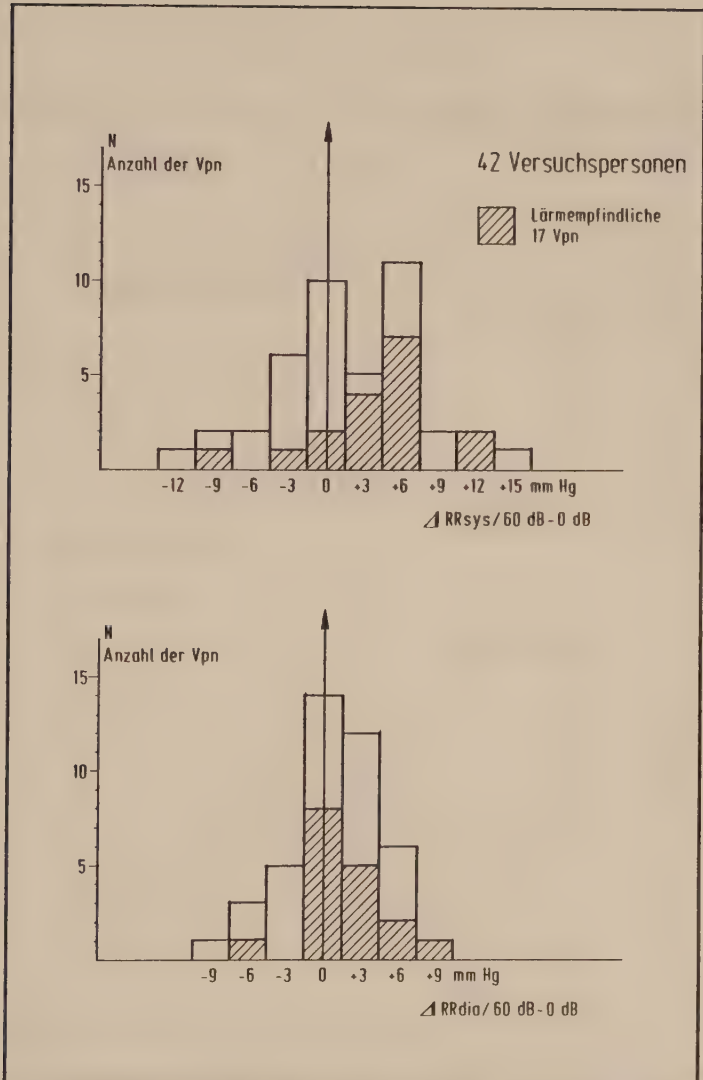


Abb. 4: Häufigkeitsverteilungen der Blutdruckänderungen bei Unterricht mit 60 dB(A)-Verkehrslärm bezogen auf den ungestörten Unterricht

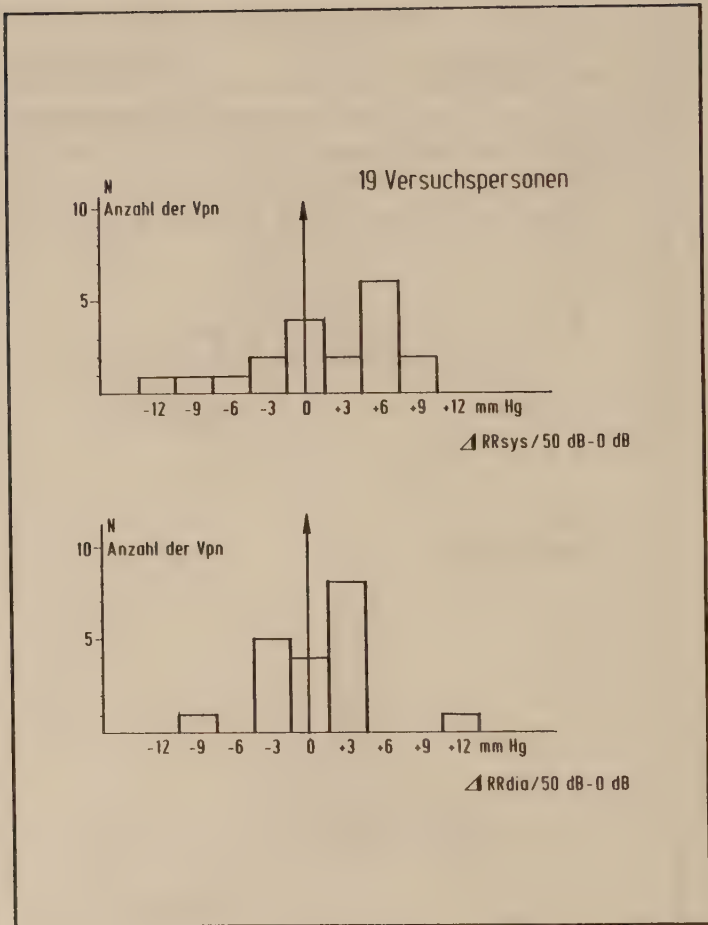


Abb. 5: Häufigkeitsverteilungen der Blutdruckänderungen bei Unterricht mit 50 dB(A)-Verkehrslärm bezogen auf den ungestörten Unterricht

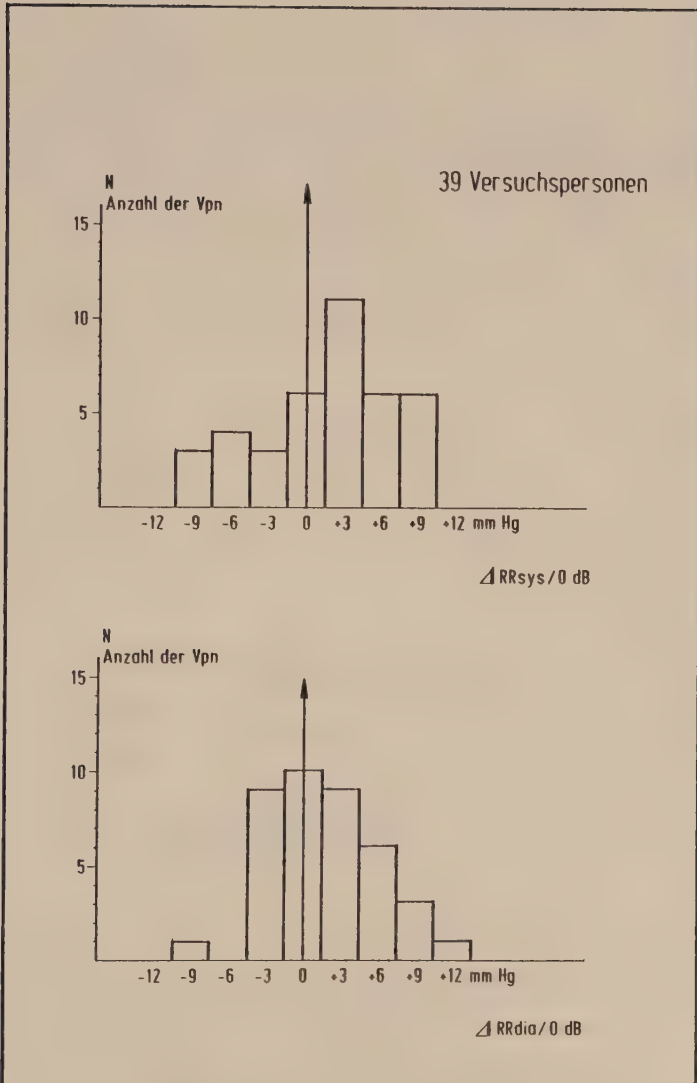


Abb. 6: Häufigkeitsverteilungen der Blutdruckänderungen beim ungestörten Unterricht mit Thema "Schußwaffengebrauch" bezogen auf den ungestörten Unterricht mit Thema "Eingriffsrecht"

Die Zeitverläufe des systolischen und diastolischen Blutdrucks, gemittelt über die Gruppe der lärmempfindlichen Probanden für den Lärmtag 2 (60 dB(A)) und Kontrolltag, sind in der Abbildung 7 dargestellt. Die lärmbedingten größten Blutdruckdifferenzen wurden in der 1. Unterrichtsstunde und gegen 11 Uhr gemessen.

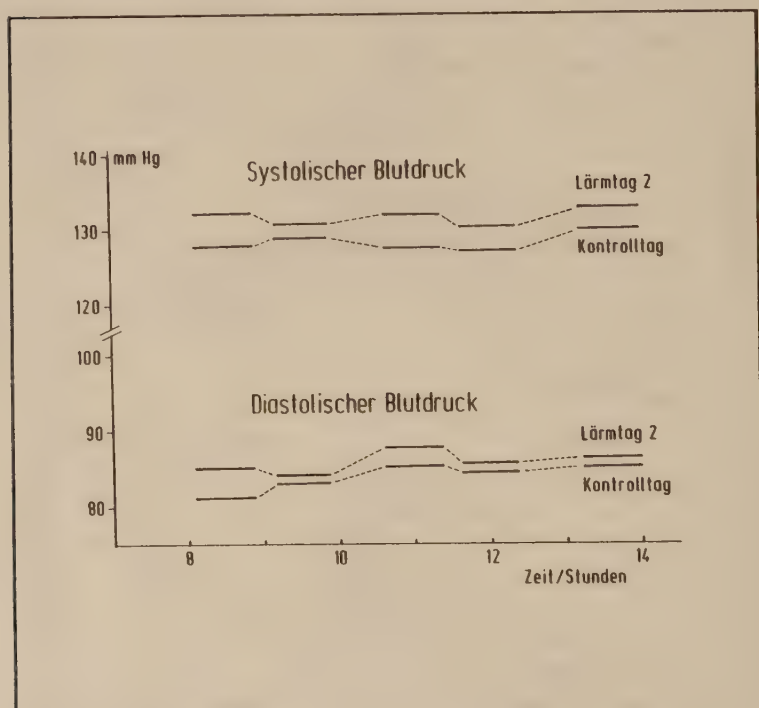


Abb. 7: Zeitverläufe des Blutdrucks bei Unterricht mit 60 dB(A)-Verkehrslärm und ohne Lärm gemittelt über die lärmempfindliche Untergruppe

3.1.5 Herzfrequenz

Vergleicht man die Änderungen der Herzfrequenz des Lärmtages 2 (60 dB(A)) gegenüber dem Kontrolltag, so finden sich hier keine signifikanten Differenzen. Dies ist deutlich aus den in Abbildung 8 dargestellten Häufigkeitsverteilungen zu ersehen. Sowohl für die Gesamtgruppe, als auch für die lärmempfindliche Untergruppe (schraffiert), sind die Verteilungen gleichmäßig um den 0-Wert angeordnet.

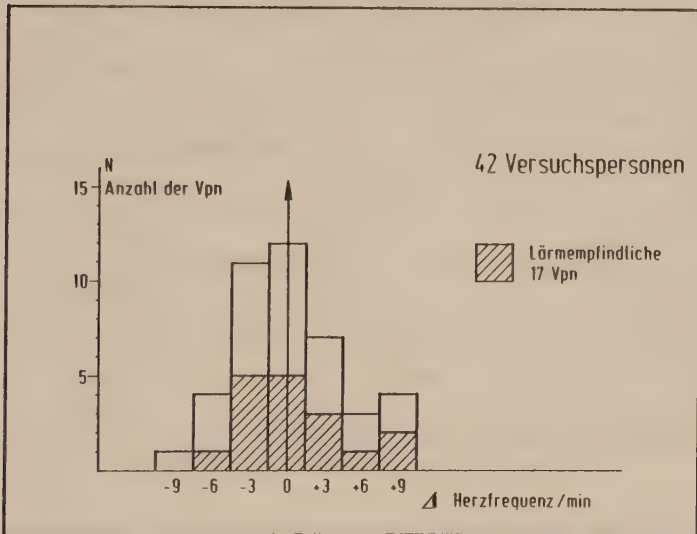


Abb. 8: Häufigkeitsverteilungen der lärmbedingten (60 dB(A)) Änderungen der Herzfrequenz

3.1.6 Korrelationsanalysen

Die Korrelationen der Änderungen von psychischen, physischen und biochemischen Parametern (Lärmwirkungsparameter) untereinander bei Unterricht mit 60 dB(A)-Verkehrslärm und ohne Lärm sind in der Tabelle 7 aufgeführt. Die Korrelationen werden durch den Rangkoeffizienten dargestellt.

Lärmwirkungs- parameter	Gesamtgruppe (N = 42 Vpn)	lärmempfindliche Untergruppe (N = 17 Vpn)
$\Delta \text{Gesp.} / \Delta \text{Müd.}^{1)}$	+ 0,42 ⁺⁺	+ 0,48 ⁽⁺⁾
$\Delta \text{U-A} / \Delta \text{U-Ca}$	-	+ 0,48 ⁽⁺⁾
$\Delta \text{U-NA} / \Delta \text{U-c-AMP}$	+ 0,42 ⁺⁺	+ 0,80 ⁺⁺⁺
$\Delta \text{U-Ca} / \Delta \text{U-Mg}$	+ 0,66 ⁺⁺⁺	+ 0,81 ⁺⁺⁺
$ \Delta p_s / \Delta \text{Gesp.}$	+ 0,41 ⁺⁺	+ 0,47 ⁽⁺⁾
$\Delta p_s / \Delta \text{HF}$	+ 0,36 ⁺	+ 0,50 ⁺
$\Delta p_d / \Delta \text{HF}$	-	+ 0,43 ⁽⁺⁾

Tab. 7: Korrelationen der Änderungen der Lärmwirkungsparameter untereinander

1) Abkürzungen sind im Anhang (Anlage 8) aufgeführt

Ausgewählte signifikante Korrelationen zwischen den Änderungen der Lärmwirkungsparameter (Vergleich Lärmtag 2 und Kontrolltag) und den medizinischen Basiswerten, auf die in der Diskussion (vgl. Abschnitt 4.3) eingegangen wird, sind in der Tabelle 8 aufgeführt.¹⁾

Lärmwirkungsparameter	medizinische Basiswerte	Gesamtgruppe		lärmempf. Untergruppe	
		R	N	R	N
Δ Müdigkeit	Alter	- 0,51 ⁺⁺	42	- 0,54 ⁺	17
	S-Kreatinin	- 0,58 ⁺⁺⁺	37	- 0,48 ⁽⁺⁾	15
Δ Gespannth.	Alter	- 0,28 ⁽⁺⁾	42	- 0,55 ⁺	17
	S-Kreatinin	- 0,46 ⁺⁺	37	- 0,47 ⁽⁺⁾	15
	Lärm-Empf.	+ 0,44 ⁺⁺	42	-	
Δ A	Serum-Mg ⁺⁺	-		+ 0,42 ⁽⁺⁾	17
Δp_s	Lärm-Empf.	+ 0,40 ⁺	41	+ 0,54 ⁺	17
$ \Delta p_s $	Lärm-Empf.	+ 0,30 ⁺	41	+ 0,73 ⁺⁺⁺	17

Tab. 8: Korrelationen der Änderungen der Lärmwirkungsparameter mit medizinischen Basiswerten

Zur Überprüfung eines möglichen Einflusses von medizinischen Basiswerten auf die psychischen, physischen und biochemischen Lärmwirkungen, sind die berechneten signifikanten Korrelationen der Basiswerte untereinander in der Anlage 6 aufgeführt.

¹⁾ Die Zusammenstellung weiterer signifikanter Korrelationen ist im Anhang (Anlage 5 und 6) aufgeführt.

3.2 Ergebnisse der Laborstudien

3.2.1 Kurzzeitlärmtest

3.2.1.1 Blutdruck

Die lärmbedingten Blutdruckänderungen des Kurzzeitlärmtests sind in der Tabelle 9 aufgeführt.

Schalldruck- pegel (weißes Rauschen)	RR-Änderungen systol.		RR-Änderungen diastol.		Vpn
	Anfang mm Hg	Ende	Anfang mm Hg	Ende	
100 dB(A)	+ 2,8 ⁺⁺⁺	+ 1,1	+ 3,2 ⁺⁺⁺	+ 3,1 ⁺⁺⁺	41

Tab. 9: Blutdruckänderungen beim Kurzzeitlärmtest

Gegenüber dem Lärmanfangswert war der Endwert des systolischen Blutdrucks im Gruppenmittel signifikant um 1,7⁺ mm Hg erniedrigt ($p < 0,05$), beim diastolischen Blutdruck war keine Abnahme innerhalb der Lärmphase nachweisbar.

Die Häufigkeitsverteilungen der lärmbedingten Änderungen, sowohl für den Lärmanfangswert, als auch für den Lärmendwert des Blutdrucks, sind in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Der gegenüber dem Lärmanfangswert verringerte Lärmendwert des systolischen Blutdrucks ist in Abbildung 10 durch die Verschiebung der Verteilung nach negativen Werten, d. h. nach links, erkennbar.

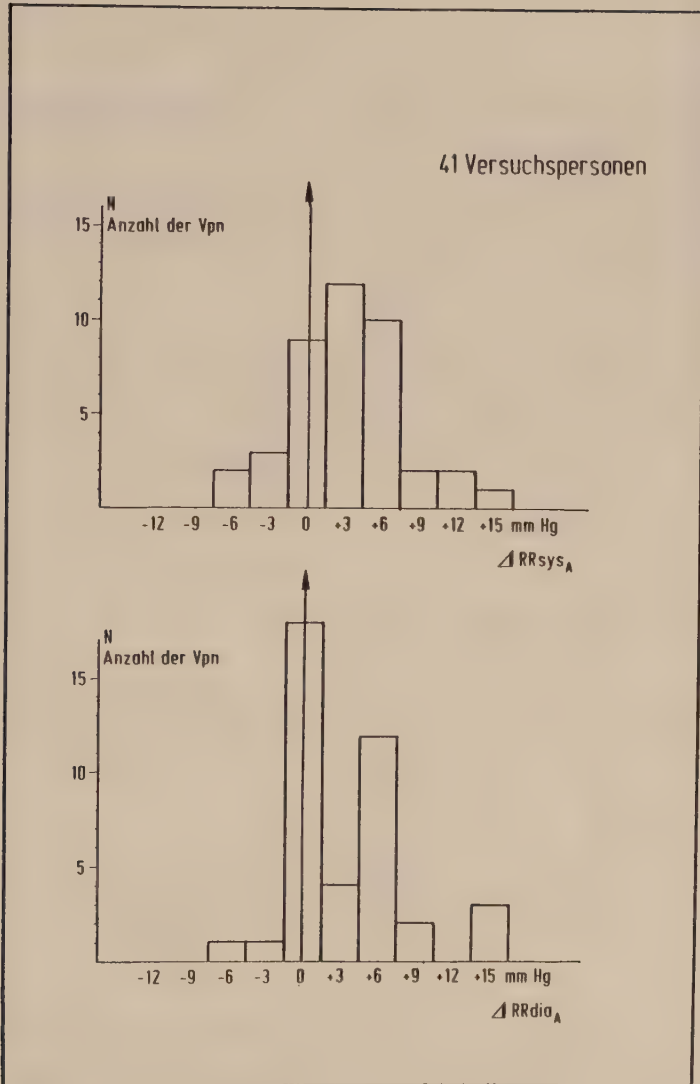


Abb. 9: Häufigkeitsverteilungen der Blutdruckänderungen am Anfang (A) der Lärmphase bezogen auf die Ruhephase

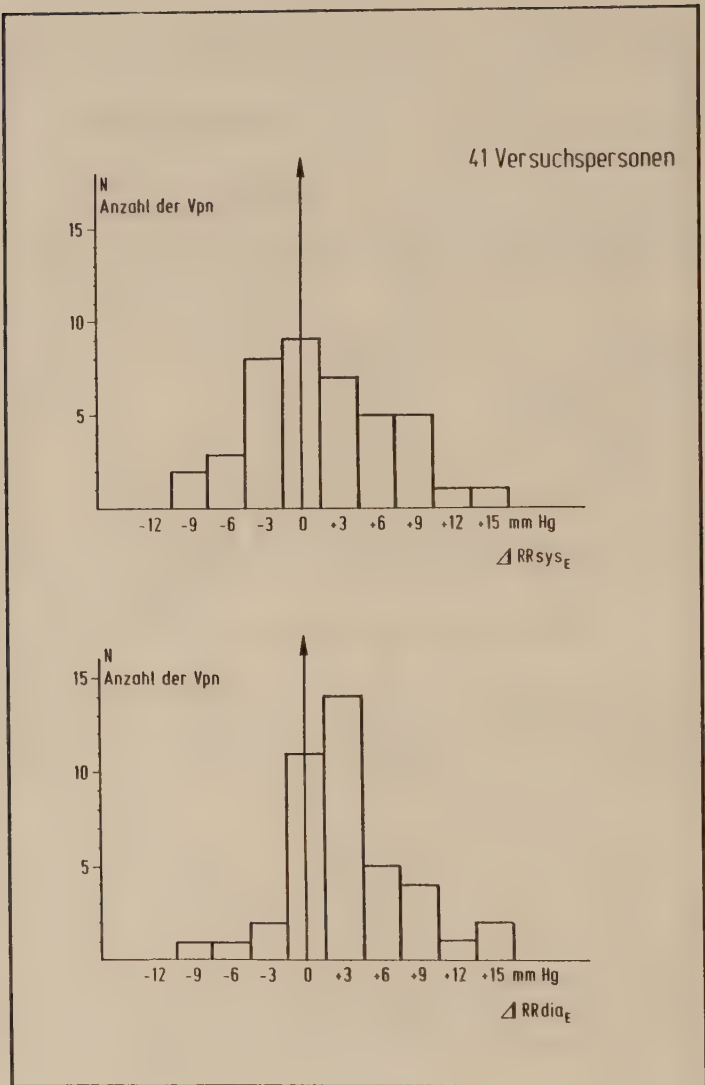


Abb. 10: Häufigkeitsverteilung der Blutdruckänderungen am Ende (E) der Lärmphase bezogen auf die Ruhephase

3.2.1.2 Korrelationsanalysen

Ausgewählte signifikante Korrelationen zwischen den Änderungen der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte mit den medizinischen Basiswerten sind in der Tabelle 10 zusammengefaßt. Die Zusammenstellung weiterer signifikanter Korrelationen ist im Anhang (Anlage 7) aufgeführt.

Lärmwirkungs- parameter	medizinische Basiswerte	Rangkoeffizient R	Vpn N
Δp_{sA}	Lärm-Empf.	- 0,32 ⁺	39
	Serum-Mg ⁺⁺	- 0,31 ⁽⁺⁾	37
Δp_{sE}	Serum-Mg ⁺⁺	- 0,37 ⁺	37

Tab. 10: Korrelationen der Änderungen der Lärmwirkungsparameter mit medizinischen Basiswerten

3.2.2 Magnesium-Studie

3.2.2.1 Serum-Magnesium-Konzentration

Untersuchungsreihe I:

Die einzelnen Verläufe der Serum-Magnesium-Konzentration (S-Mg) der sieben Versuchspersonen sind in Abbildung 11 dargestellt. Aufgrund der Lärmbelastung (110 dB(A) - weißes Rauschen) stieg die S-Mg bei den meisten Vpn innerhalb der ersten bis dritten Minute an, um dann gering abzufallen. Bei der Ergometriebelastung stieg die S-Mg bei fünf Probanden bis zum Ende der Belastungsphase, bei nur zwei Vpn (9 und 24) wird der höchste S-Mg-Wert nach fünf Minuten erreicht.

Aus den Verläufen ist deutlich zu erkennen, daß die Ruhephase zwischen der Lärm- und Ergometriebelastung von nur fünf Minuten bei den meisten Vpn nicht ausgereicht hatte, die S-Mg auf einen Ausgangsrühewert zu bringen.

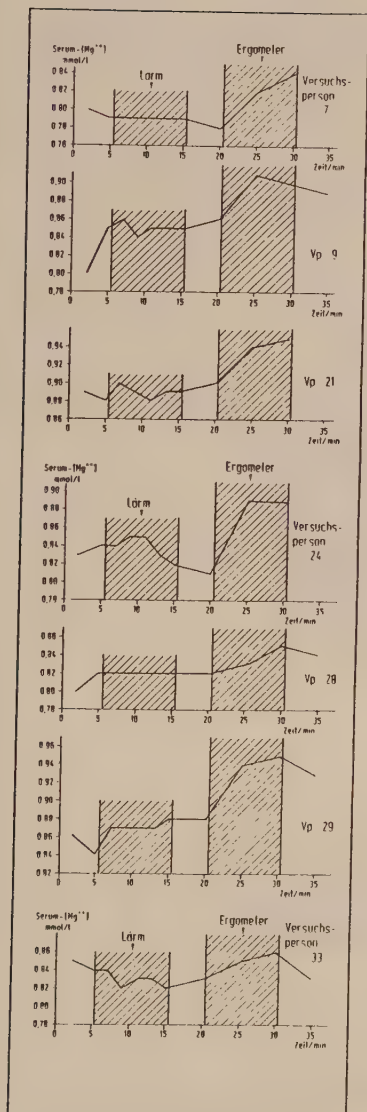


Abb. 11: Änderungen der Serum-Mg-Konzentration unter Lärm (110 dB(A) - weißes Rauschen) und Ergometriebelastung (50 W)

Der Gesamtverlauf der Serum-Magnesium-Konzentrationen für alle sieben Vpn ist in Abbildung 12 dargestellt. Im Gruppenmittel stieg die S-Mg unter Lärm gering aber signifikant um $+ 0,016 \text{ mmol/l}^+ = 1,9 \%$, unter Ergometriebelastung um $+ 0,057 \text{ mmol/l}^+ = 6,9 \%$ an.

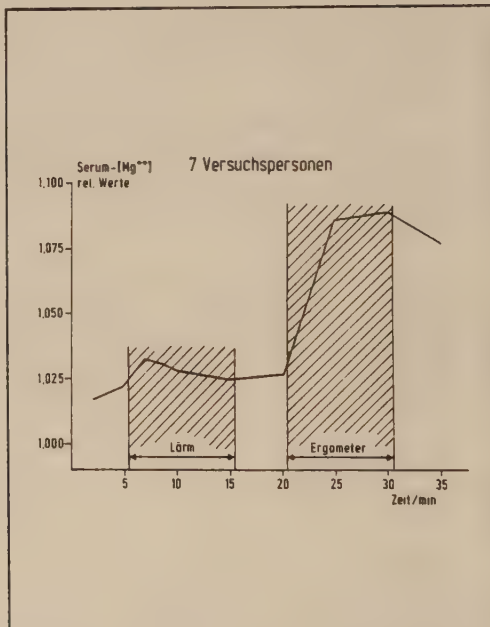


Abb. 12: Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration bei sieben Versuchspersonen unter Lärm (110 dB(A)-weißes Rauschen) und Ergometriebelastung (50 W)

rel. Mittelwert :

$$\bar{x}_a = \left[\sum_{n=1}^7 \left(\frac{\text{Meßwert } a}{\text{niedr. Ruhewert}} \right)_{VP \ n} \right] : 7$$

Untersuchungsreihe II:

Die einzelnen Verläufe der Serum-Magnesium-Konzentrationen der zehn Versuchspersonen sind in Abbildung 13 dargestellt. Deutliche lärmbedingte (110 dB(A) - Motorradrennen) Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration sind bei fünf Vpn aufgetreten. Bei zwei Vpn (4 und 38) war die Anfangsruhe von fünf Minuten wahrscheinlich zu kurz, um die Serum-Magnesium-Konzentration auf einen Ruhewert abfallen zu lassen, bei ebenfalls zwei Vpn (5 und 12) können aufgrund der Verläufe der Serum-Magnesium-Konzentration keine Aussagen über die Reaktionen auf die Lärmbelastung gemacht werden. Eine Versuchsperson (15) reagierte auf die Lärmbelastung zuerst mit einem Abfall der Serum-Magnesium-Konzentration, um während des akustischen Reizes und der Endruhephase bis zu einem Maximalwert am Ende des Versuches anzusteigen. Wie schon in der Untersuchungsreihe I, werden die Höchstwerte der Serum-Magnesium-Konzentration innerhalb der Lärmphase in einer bis drei Minuten erreicht, um danach gering abzufallen.

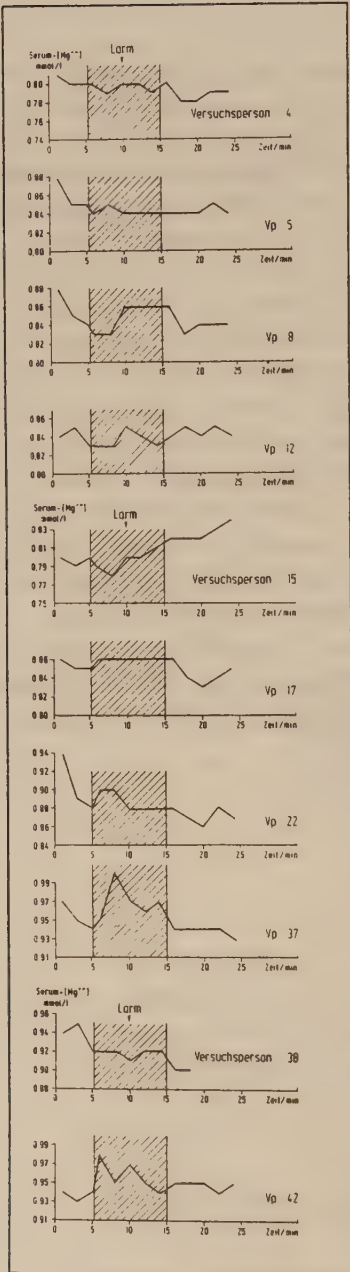


Abb. 13: Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration unter Lärm (110 dB(A) - Motorradrennen)

Der Gesamtverlauf der Serum-Magnesium-Konzentration für alle zehn Versuchspersonen ist in Abbildung 14 dargestellt. Im Gruppenmittel stieg die S-Mg unter Lärmbelastung (110 dB(A) - Motorradrennen) signifikant um $+ 0,013 \text{ mmol/l}^+ = 1,5 \text{ \% an.}$

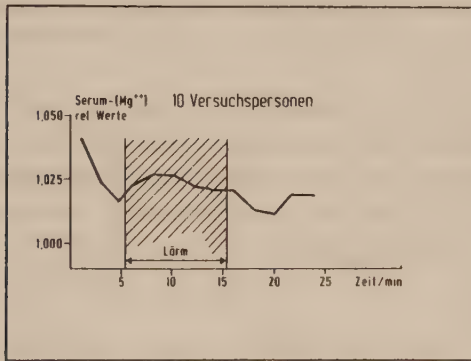


Abb. 14: Lärmbedingte Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration bei zehn Versuchspersonen (110 dB(A) - Motorradrennen)

rel. Mittelwert :

$$\bar{x}_a = \left[\sum_{n=1}^{10} \left(\frac{\text{Meßwert a}}{\text{niedr. Ruhewert}} \right)_{VP n} \right] : 10$$

Zusammenfassend zeigt die Tabelle 11 die Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration der beiden Magnesium-Studien in Abhängigkeit von der Belastung.

Belastungs- Art	Dauer min	Änderungen der Serum-Magnesium- Konzentration (Gruppenmittel)		Vpn
		mmol/l	%	
Lärm 110 dB(A) weißes Rauschen	10	+ 0,016 ⁺	1,9 ⁺	7
Ergometer 50 Watt	10	+ 0,057 ⁺	6,9 ⁺	7
Lärm 110 dB(A) Motorrad- rennen	10	+ 0,013 ⁺	1,5 ⁺	10

+ : $p < 0,05$

Tab. 11: Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration unter Lärm- und Ergometerbelastung

Die gemittelten signifikanten ($p < 0,05$) Anstiege der Serum-Magnesium-Konzentration sind zwar gering, sie sind aber mit statistischer Sicherheit Lärmwirkungen, da während der gesamten Versuche außer dem über Kopfhörer überspielten Verkehrslärm keine zusätzlichen störenden Einflüsse vorhanden waren.

4. Diskussion

4.1 Streßreaktionen in der Feldstudie

Bei der Bestimmung der psychischen Befindlichkeit konnten signifikante Unterschiede nur beim Vergleich zwischen Unterrichtstag mit Lärmpegel von 60 dB(A) und Unterricht ohne Lärm, und zwar sowohl bei der Gesamtgruppe als auch bei der lärmempfindlichen Untergruppe festgestellt werden (vgl. Tabelle 5, S. 34).

Eine Erklärung für die erhöhte Müdigkeit unter Lärmbelastung ist sicherlich das ständige "Ankämpfen" der Versuchspersonen gegen den störenden Verkehrslärm, ohne die Möglichkeit zu haben, der störenden Belastung auszuweichen (die Vpn wurden gebeten, auch in den Unterrichtspausen im Raum zu bleiben) oder sie abzustellen.

Die Erhöhung der psychischen Gespanntheit läßt sich damit erklären, daß die Lehrgangsteilnehmer den ihnen angebotenen Lehrplan unter allen Umständen einhalten mußten, da ihnen keine Ausweichkurse zur Verfügung standen, sie also die Kommunikationsstörungen durch den Lärm mittels erhöhter Konzentration kompensieren mußten. Daher sind auch bei dem Vergleich "Kursthemawechsel", wo keine Lärmbelästigung stattfand, nur geringe Differenzen - innerhalb individueller Schwankungen - gemessen worden.

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Ising und Wittke (1979b) bei Untersuchungen von 28 Vpn unter Infraschallexposition. Die Probanden wurden acht Stunden lang ohne und mit Infraschall (12,5 Hz Terzrauschen, $L_{eq} = 110$ dB) beschallt, während sie mit selbstgewählten Lern- und Leseaufgaben beschäftigt waren. Neben anderen Streßparametern wurde von den Vpn auch ein entsprechender Befindlichkeitsfragebogen mit 17 Fragen (für jede Frage eine fünfstufige Skala) ausgefüllt. In diesem

Versuch beeinflußt die Infraschallbelastung am stärksten die Konzentrationsfähigkeit ($\Delta I = 1,4$): "Ich muß mich mehr als normal anstrengen, etwas zu behalten.", dies ist vergleichbar mit der im Feldversuch ermittelten psychischen Gespanntheit. An zweiter Stelle der Beeinträchtigung durch Infraschall waren gleichwertig Belästigung und Erschöpfung ($\Delta I = 0,8$): "Ich fühle mich ruhebedürftig.", was mit der Müdigkeit aus der Feldstudie verglichen werden kann.

Der einzige biochemische Parameter, der lärmbedingte Unterschiede aufwies, war die Noradrenalin-Ausscheidung, und zwar beim Vergleich Unterricht mit 60 dB(A)-Verkehrslärm und Kontrolltag (vgl. Abb. 3, S. 37). Der während des Unterrichts eingespielte 50 dB(A)-Verkehrslärm führte zu keinen signifikanten biochemischen Reaktionen.

Dies wird auch in Untersuchungen von Klotzbücher (1978) bestätigt, in denen die Nachweisbarkeit des Wirkungszusammenhanges zwischen akuten psychischen Lärmwirkungen (z. B. Belästigung) auf rechnende Probanden und biochemische Wirkungen bei anderthalbstündiger Exposition beim Übergang von 55 auf 70 dB(A) beginnt.

Bei der Adrenalinausscheidung konnte in der Feldstudie keine signifikante Änderung festgestellt werden.

Diese Ergebnisse sollen mit den von Ax (1953) vorgebrachten interessanten Ansichten, welche die physiologischen Grundlagen von Furcht und Angst behandeln, verglichen werden. Ax nimmt für die Furchtreaktion eine überwiegende Adrenalinwirkung und für die Ärgerreaktion eine kombinierte Adrenalin- und Noradrenalinwirkung an. Ähnliche Gedanken sind in der sogenannten Funkenstein-Hypothese (Funkenstein, 1957) enthalten. Gemäß dieser Hypothese sind Angstreaktionen mit einer

erhöhten Adrenalinreaktion verbunden, während aggressive Reaktionen zu einer erhöhten Noradrenalinausscheidung führen.

Andere Studien mit Affen von Mason et al. (1961) führen die Autoren zu Schlußfolgerungen, daß eine Situation, die durch Unsicherheit und Ungewissheit charakterisiert ist, mit erhöhter Adrenalinausscheidung verbunden ist, wohingegen Noradrenalinausscheidungen in einer vertrauten und unzweideutigen Situation, die die Versuchsperson kontrollieren kann, vorherrscht. Mandler (1967) legt bei einer Diskussion dieses Versuches nahe, daß "Verfügbarkeit von relevantem Verhalten" der entscheidende Faktor sei, in dem Hilflosigkeit mit einer Adrenalinausscheidung und Verfügbarkeit von relevanten Reaktionen mit einer Noradrenalinausscheidung einhergehen.

Diese Auffassung entspricht der von Elmadjian (1957) vorgebrachten Ansicht, daß aktive und aggressive Zustände mit Noradrenalinausscheidungen verbunden seien, während bei passiven und ängstlichen Reaktionen eine Adrenalinausscheidung erfolge.

Ising et al. (1980b) stellten bei Untersuchungen an Brauereiarbeitern mit und ohne Gehörschutz nur eine signifikante Erhöhung für die Noradrenalin- und Vanillinmandelsäureausscheidung fest. Die gemessene Adrenalinausscheidung bewegte sich in individuellen Schwankungen und war nicht signifikant.

Die diskutierten Arbeiten stimmen gut mit der Situation der Lehrgangsteilnehmer in dem Feldversuch überein. Da den Kursteilnehmern nicht die Möglichkeit einer Kurswiederholung gegeben wurde und sie den Lehrgangsstoff für ihre weitere berufliche Laufbahn nicht missen wollten, waren die Probanden

über den Verkehrslärm, der sie beim Unterricht störte, einmal sehr ärgerlich, und zum zweiten war ihnen die Situation (Störung der Informationsverarbeitung durch Verkehrslärm) vertraut und unzweideutig.

Eine Erklärung, warum trotz eines relativ geringen Lärmpegels eine signifikante Noradrenalinausscheidung gemessen wurde, liefert Ising (1981) in einer Untersuchung mit Wistarratten. Der Autor beschreibt einen "Schwellenmechanismus" bei der Katecholaminfreisetzung im Streß. Ising untersuchte vier Gruppen von Ratten, die je drei Monate lang unter starkem und schwachem Magnesium-Mangel in Kombination mit starker und schwacher Lärmbelastung gehalten wurden. Als Streßparameter wurden u. a. die Noradrenalinausscheidung und die Oberflächentemperatur am Schwanz zur Abschätzung der peripheren Durchblutung gemessen. Während die Schwanztemperatur mit zunehmender Belastung für alle vier Gruppen sank, war die Noradrenalinausscheidung bis zur dritten Gruppe kaum erhöht und springt erst bei der kombiniert belasteten vierten Gruppe auf den doppelten Wert. Dieses Beispiel verdeutlicht, daß gerade bei Katecholaminbestimmungen im Rahmen von Belastungsexperimenten nur dann nachweisbare Belastungseffekte zu erwarten sind, wenn entweder eine extrem hohe Einzelbelastung oder Kombinationsbelastungen angewendet werden.

Die Messung der Blutdruckreaktionen auf eine Streßsituation nimmt in der Lärmwirkungsliteratur eine Schlüsselstellung ein. In der Feldstudie dieser Arbeit wurden beim vegetativen Kreislaufparameter Blutdruck signifikante systolische und diastolische Blutdruckanstiege am Unterrichtstag mit 60 dB(A)-Verkehrslärm und am Unterrichtstag mit dem Kurs-thema "Schußwaffengebrauch" ohne Lärmbelastung im Vergleich zu den Kontrolltagen festgestellt (vgl. Tab. 6, S. 39).

Der während des Unterrichts eingespielte Verkehrslärm vom 50 dB(A) führte zu keinen signifikanten Blutdruckänderungen.

Der Anstieg des Blutdrucks durch den Kursthemawechsel ("Eingriffsrecht" - "Schußwaffengebrauch"), ist bei den an den Untersuchungen teilnehmenden Polizisten aufgrund der starken emotionalen Erregung hervorgerufen. Nach Woodworth et al. (1954) ist der Blutdruck bei emotionaler Erregung im Gegensatz zur Hautleitfähigkeit besonders als Indikator für extreme Aktivationszustände geeignet. Die Autoren führen u. a. eine Literaturübersicht über Blutdrucksteigerungen bei verschiedenen emotionalen Erregungszuständen, unter Erwartungsspannung, vor und während wichtiger Examen und während emotional erregender Filme an.

Die signifikanten Blutdruckanstiege durch die Kombinationsbelastung - Verkehrslärm 60 dB(A) und Unterricht - sind zwar individual-medizinisch gesehen gering, aber epidemiologisch gesehen gewinnen diese Werte an großer Bedeutung.

Einen Hinweis auf mögliche Folgen chronischer Belastungen dieser Art gibt eine Studie an Fluglotsen, einer Berufsgruppe mit besonders hoher Hypertonierate (Rose, 1978). Der Blutdruck von 123 Fluglotsen wurde an zwei Tagen gemessen, einmal bei extremer Arbeitsbelastung und zum anderen bei extrem geringer Arbeitsbelastung. Die Ergebnisse werden mit anderen Untersuchungen, bei denen eine ähnlich lange Belastung in Form einer Kommunikations- bzw. Informationsbehinderung durch Lärm bestand, sowie mit den Resultaten dieser Feldstudie verglichen (Tabelle 12).

Tätigkeit Anzahl der Vpn	Belastungswechsel (Literatur)	Dauer Stunden	Blutdruckänderung	
			Δp_{sys}	Δp_{dia}
			mm Hg	
Fluglotsen (N = 123)	hohe/niedrige mentale Lei- stung (Rose, 1978)	8	+ 4,3"	+ 2,9"
Maschinen- bedienung (N = 30)	Arbeiten mit 95 dB(A) ohne/mit Gehör- schutz (Ising, 1980b)	8	+ 6,6 ⁺⁺⁺	+ 2,3
Schaltungen löten (N = 57)	Verkehrslärm 85 dB(A)/Ruhe (Ising, 1980a)	7	+ 3,4 ⁺⁺⁺	+ 1,8 ⁺⁺
Unterricht (N = 43)	Verkehrslärm	6	+ 1,7 ⁺	+ 1,2 ⁺
(N = 17) ¹⁾	60 dB(A)/Ruhe		+ 3,5 ⁺⁺	+ 2,0 ⁺

+ : $p < 0,05$

++ : $p < 0,01$

" : $p < 0,005$

+++ : $p < 0,001$

1) lärmempfindliche Untergruppe

Tab. 12: Systolische und diastolische Blutdruckänderungen bei Belastungswechsel - Vergleich verschiedener Studien

Aus der Tabelle 12 ist zu ersehen, daß mit zunehmender Lärmbelastung bei gleichzeitiger Störung einer mentalen Leistung, die Blutdruckerhöhungen vergleichbar groß mit denen der Fluglotsenstudie sind. Chronische Lärmbelastung könnte also zu einer Erhöhung der Hypertonierate und damit zu einem erhöhten kardiovaskulären Risiko führen.

Die im Zeitverlauf des Blutdrucks (vgl. Abb. 7, S. 44) festgestellten größeren Blutdruckdifferenzen zwischen dem Lärmtag 2 (60 dB(A)) und Kontrolltag am Anfang des Unterrichtstages, kurz vor der Mittagszeit und am Ende des Kurstages, stimmen gut mit den mündlichen Äußerungen der Lehrgangsteilnehmer überein; zu diesen Zeiten war bei den meisten Kursteilnehmern die Störung durch den Lärm am größten.

Bei der Herzfrequenz konnten keine signifikanten Änderungen festgestellt werden (vgl. Abb. 8, S. 45).

Zu ähnlichen Ergebnissen kommen auch Schönpflug und Schulz (1979) in ihren Untersuchungen. Nach ihren Beobachtungen ändern sich bei Lärm physiologische Belastungsparameter, wie z. B. die Herzrate, während starker mentaler Belastung nur wenig. Die Autoren erklären dies damit, daß einige Personen bei Kombinationsstreß gerade wegen der zusätzlichen Lärmbelastung auf eine intensive Auseinandersetzung mit der Aufgabe verzichten und Risikohandlungen einkalkulieren. Dadurch wird die mentale Belastung herabgesetzt und die Herzrate sinkt. Da dieser Effekt nicht bei allen Personen hervorgerufen wird, kommt es innerhalb der experimentellen Gruppe zu gegenläufigen Reaktionen. Im Gruppenmittel findet man dann keine signifikanten Unterschiede zwischen Lärm- und Kontrollgruppe.

Eine Herzfrequenzänderung bei intermittierender Lärmbelastung von 100 dB(A) fand Fröhstorfer (1980) - außer zwischen dem ersten und zweiten Reiz - ebenfalls nicht.

4.2 Reaktionen auf Lärm im Kurzzeidlärmtest

Die signifikanten systolischen und diastolischen Blutdruckerhöhungen nach der ersten Minute des fünfminütigen Lärmtests waren aufgrund der verwendeten hohen Schalldruckpegel zu erwarten (vgl. Tab. 9, S. 48). Zu betonen ist nochmals, daß es sich hierbei nicht um eine Schreckreaktion handelt, da der Pegel einschleichend erhöht worden ist.

Eine Erklärung für die höheren diastolischen Blutdruckänderungen (+ 3,2 mm Hg) gegenüber den systolischen (+ 2,8 mm Hg) könnten die Ergebnisse der schon erwähnten Arbeit von Ax (1953) liefern, der die autonomen Wirkungen von experimentell induzierten Furcht- und Ärgerreaktionen verglich. Bei Ärger fand sich ein signifikanter Anstieg des diastolischen Blutdrucks, bei Furcht dagegen neben anderen Variablen (Atemfrequenz, Hautleitfähigkeit) eher des systolischen Blutdrucks.

Ähnlich sind auch die Ergebnisse eines "neuen standardisierten Streßtestes" von Turek (1977) zu sehen. Turek untersuchte 14 Normotoniker, die über einen Kopfhörer mit 104 - 108 dB beschallt wurden. Während der Beschallung mußten die Versuchspersonen einen nicht isolierten Metallring um einen zufällig gebogenen Stahlstab führen. Bei jedem elektrischen Kontakt des Ringes mit dem Stab wurde ein Lärmstoß von 114 - 124 dB auf ein Ohr der Versuchsperson gegeben. Jede zweite Minute des zehnminütigen Versuchs wurde der Blutdruck gemessen. Die mittleren Werte über die gesamte Versuchsperiode betrugen für die systolische Blutdruckänderung $\Delta p_{\text{sys}} = + 12,4$ mm Hg, für die diastolische Blutdruckänderung $\Delta p_{\text{dia}} = + 9,4$ mm Hg. Sicherlich hatten die Probanden dieses Streßtests eher Angst, als daß sie ärgerlich waren, was möglicherweise die Erklärung für die höheren systolischen Blutdruckänderungen liefert.

Ebenso wie im Kurzzeittlärmtest, ist bei den Untersuchungen von Turek die systolische Blutdruckänderung innerhalb der zehn Minuten Versuchsdauer gesunken (von + 15,5 auf + 11,1 mm Hg), wohingegen die diastolische Blutdruckänderung konstant blieb. Zu erklären sind diese Ergebnisse mit einer Gewöhnung an den akustischen Reiz, der sich aber nur am systolischen Blutdruck äußert. Die bei den Adaptationsprozessen zu berücksichtigenden Faktoren, können sowohl physiologischer als auch psychologischer Natur sein. Physiologische Vorgänge wären das Schwächerwerden einer ursprünglich stärkeren Reaktion oder das zusätzlich verstärkte Auftreten anderer Reaktionen. Als psychologische Faktoren können einmal eine kognitive Umbewertung eines als ursprünglich schädlich angesehenen Reizes oder die erkannte Ohnmacht gegenüber dem Reiz angeführt werden (Guski, 1974). Zum anderen kann ein an sich informationsloses Geräusch durch Wiederholung Information gewinnen und damit auf den Adaptationsverlauf einen Einfluß nehmen (Kryter, 1976).

Nicht zuletzt ist auch die kurze Dauer der geschilderten Tests ein wichtiger Faktor für die Adaptationsprozesse, da die Versuchspersonen auf das nahe Ende des Versuches sicherlich eingestellt sind, was auch Markert (1981) in seinen Untersuchungen feststellen konnte.

4.3 Korrelationsanalysen ausgewählter Parameter

4.3.1 Feldstudie

Die in Tabelle 7 (vgl. S. 46) aufgeführten Korrelationen der Lärmwirkungsparameter untereinander sind für die Diskussion der Lärmwirkungsmechanismen von großer Bedeutung. Unter "Lärmwirkungsparameter" sind die Änderungen der Parameter zwischen Lärmtag 2 (60 dB(A) Verkehrslärm) und Kontrolltag zu verstehen und durch " Δ " gekennzeichnet.

Δ Gespanntheit/ $+\Delta$ Müdigkeit

Diese positive Korrelation zwischen den Änderungen der psychischen Gespanntheit und denen der Müdigkeit war zu erwarten und bedeutet, daß die Versuchspersonen, die aufgrund des Lärms mit einer höheren psychischen Gespanntheit reagierten, auch im Vergleich zu dem Kontrolltag deutlich müder geworden sind. Dies wurde auch in den Gesprächen am Abschluß der Feldstudie von den meisten Lehrgangsteilnehmern bestätigt.

Δ U-A/ $+\Delta$ U-Ca; Δ U-NA/ $+\Delta$ U-c-AMP; Δ U-Ca/ $+\Delta$ U-Mg

Diese positiven Korrelationen bestätigen die biochemischen Vorgänge des Adenyl-Cyklase-Systems und lassen sich mit dem in Ising (1980b) aufgeführten Schema erklären (Abbildung 15).

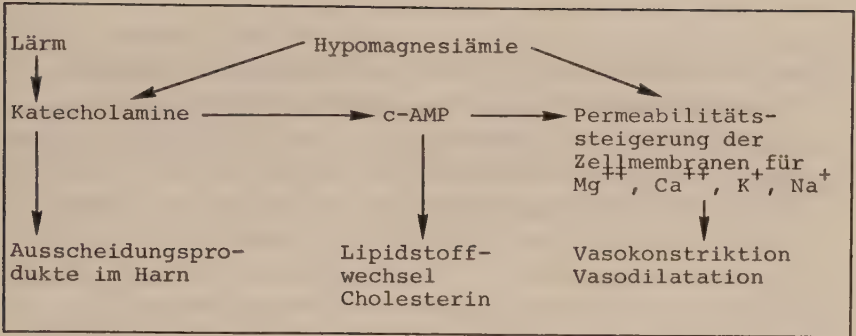


Abb. 15: Katecholamin-c-AMP-System (Ising, 1980b)

Als eine Folge der vermehrten Hormonfreisetzung (first messenger) durch die zusätzliche akustische Belastung kommt es zur Aktivierung der Adenylcyclase und zu einer erhöhten Bildung von c-AMP (second messenger), die eine Permeabilitätssteigerung der Zellmembran für Na⁺, K⁺, Ca⁺⁺ und Mg⁺⁺ bewirkt. Das freigesetzte Mg⁺⁺ wird über die Nieren ausgeschieden.

Eine neben der Lärmbelastung zusätzliche Hypomagnesiämie, kann - wie die Abbildung 15 zeigt - die erwähnten Vorgänge noch verstärken.

$|\Delta p_s| / +\Delta \text{psychische Spannung}$

Bei der Betrachtung der Absolutbeträge der Blutdruckänderungen ($|\Delta p|$) wird - im Gegensatz zu den nicht absoluten Blutdruckänderungen (Δp) - vermieden, daß sich die positiven (d. h. Blutdruckanstiege) und die negativen (d. h. Blutdruckabfälle) Beträge möglicherweise gegenseitig aufheben.

Die signifikant positive Korrelation bedeutet, daß neben den Versuchspersonen mit einer lärmbedingten Blutdrucksteigerung auch die Probanden mit einer Blutdruckerniedrigung über eine größere psychische Spannung aufgrund des eingespielten 60 dB(A)-Verkehrslärms klagten. Die lärmbedingte Erniedrigung des systolischen Blutdrucks wird auch durch den Vergleich der o. a. signifikanten ($p < 0,01$) Korrelationen der Absolutbeträge der Blutdruckänderungen von $R = + 0,41^{++}$ mit der nicht signifikanten Korrelation der positiven Änderungen des systolischen Blutdrucks mit den Änderungen der psychischen Gespanntheit ($\Delta p_s / + \Delta \text{psych. Gespanntheit}$: $R = 0,14$) deutlich.

Diese obigen und die im späteren Abschnitt diskutierten Korrelationen zwischen dem systolischen Blutdruck und der Lärmempfindlichkeit deuten verstärkt auf den in der Lärmwirkungsliteratur zu wenig beachteten lärmbedingten Blutdruckabfall.

$\Delta p_s / d / + \Delta \text{Herzfrequenz}$

Die positive Korrelation bedeutet, daß die Versuchspersonen, die mit einer großen Änderung des systolischen und diastolischen Blutdrucks auf die Kombinationsbelastung reagierten, auch mit einer hohen Änderung der Herzfrequenz antworteten. Die Herzfrequenzänderungen waren allerdings - wie schon erwähnt - weder für die Gesamtgruppe noch die lärmempfindliche Untergruppe nicht signifikant.

Zum Verständnis des Einflusses einiger physiologischer und biochemischer Parameter, sowie der Lärmempfindlichkeit auf vegetative und endokrine Lärmwirkungen, ist die Korrelation der Lärwirkungsparemeter mit ausgewählten Basiswerten von großem Interesse (Tab. 8, S. 47). Unter "Basiswerten" sind einmalig bestimmte Parameter zu verstehen.

<u>ΔMüdigkeit/- Alter</u>	<u>ΔGespanntheit/- Alter</u>
<u>/- S-Kreatinin</u>	<u>/- S-Kreatinin</u>

Die aufgeführten negativen Korrelationen bedeuten, daß je jünger die Versuchsperson und je geringer der Serum-Kreatininwert (kann als Maß für die Muskelmasse angenommen werden) war, desto größer war auch die Änderung der Müdigkeit und der psychischen Gespanntheit unter der Lärmbelastung im Vergleich zum Kontrolltag. Diese Ergebnisse erscheinen einleuchtend, da die jüngeren Versuchspersonen sicherlich am Anfang des Feldversuches noch körperlich frischer und ausgeglichener waren, als die älteren Probanden, aber während der sechsständigen Untersuchung durch die zusätzliche Lärmbelastung - im Verhältnis zu ihren älteren Kollegen - deutlich müder und gespannter wurden.

ΔGespanntheit/+ Lärmempfindlichkeit

Diese positive Korrelation war zu erwarten. Die sich am lärmempfindlichsten einschätzenden Versuchspersonen reagierten auf den Verkehrslärm während des Unterrichts mit einer größeren Änderung der Gespanntheit als ihre "lärmunempfindlichen" Kollegen.

$\Delta U-A/+ S$ -Magnesium

Die positive Korrelation zwischen der lärmbedingten Änderung der Adrenalinausscheidung und der Serum-Magnesium-Konzentration stimmt auf den ersten Blick nicht mit den bisherigen Ergebnissen aus der Literatur (Günther, 1978; Ising, 1980a; Ising et al., 1981) überein. Die zu erwartende Korrelation müßte negativ sein, was bedeuten würde, daß Versuchspersonen mit einer geringeren Serum-Magnesium-Konzentration auf eine Kombinationsbelastung mit größeren Adrenalinausscheidungen - d. h. mit größeren endokrinen Streßreaktionen - reagieren, als Probanden mit höheren Serum-Magnesium-Konzentrationen. Die positive Korrelation läßt sich folgendermaßen erklären:

Zu Beginn der Feldstudie wurde allen Versuchspersonen eine Blutprobe entnommen, aus der u. a. auch die Serum-Magnesium-Konzentration bestimmt und als sogenannter "Ruhewert" für die Korrelationsanalysen codiert wurde. Bei einem späteren Vergleich zwischen diesen Werten und den unter Labor-Ruhebedingungen erhaltenen Serum-Magnesium-Werte aus den Magnesium-Laborstudien wurde festgestellt, daß die "Ruhewerte" aus der Feldstudie signifikant ($p < 0,01$) höher lagen als die Werte aus den Laborversuchen. Von insgesamt 17 Versuchspersonen waren bei 12 Probanden die Serum-Magnesium-Konzentrationen aus der Laborstudie niedriger als die "Ruhewerte" aus der Feldstudie, bei zwei Versuchspersonen sind die beiden Werte gleich und bei drei Probanden sind die in der Laborstudie ermittelten Werte höher als die zu Beginn der Feldstudie bestimmten (vgl. Abb. 16).

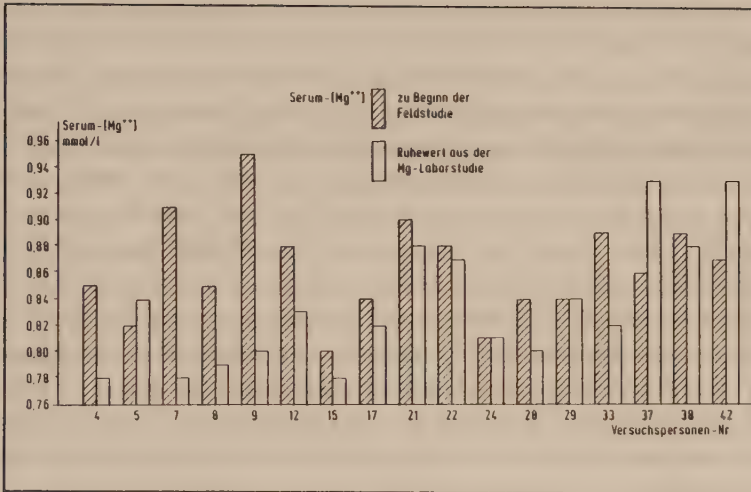


Abb. 16: Vergleich der "Ruhewerte" der Serum-Magnesium-Konzentrationen von 17 Versuchspersonen aus zwei Studien

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß die zu Beginn des Feldversuches stattgefundene Blutabnahme einen unerwünschten Stressor darstellte. Mit der Annahme, daß auf diesen Stressor besonders die lärmstreßempfindlichen Kursteilnehmer reagierten, ist es verständlich, daß gerade bei diesen Probanden die Serum-Magnesium-Konzentrationen, die zur Korrelationsanalyse hinzugezogen wurden, zu hoch liegen.

Die o. a. positive Korrelation ist also dahingehend zu verstehen, daß je lärmempfindlicher sich die Versuchspersonen einschätzen, desto höher ist auch die Änderung der Adrenalin-

ausscheidung im Urin. Bestätigt wird dies auch damit, daß - im Gegensatz zu der lärmempfindlichen Untergruppe - bei der Gesamtgruppe keine signifikante Korrelation errechnet wurde.

Über Ergebnisse des Einflusses des akuten Lärmeffektes auf die Serum-Magnesium-Konzentration, die die obige Erklärung bestätigen, berichtet auch Ising (1981); sie werden aber erst später im Abschnitt 4.5 diskutiert (vgl. S. 84).

Es kann jedoch schon hier festgestellt werden, daß die Bestimmung der Serum-Magnesium-Konzentration als ein wichtiges methodisches Problem gesehen werden muß. Bei der Ermittlung des Ruhewertes für die Serum-Magnesium-Konzentration muß daher die entsprechende Ruhephase möglichst genau ausgewählt werden. Levi (1976) weist ebenfalls darauf hin, daß zu Unrecht oft die Ausgangssituation vor Beginn des Experimentes als Ruhewert gewählt wird. Diese ist häufig durch die Erwartungshaltung bzw. -spannung, die als Stressor bereits Auswirkungen haben kann, verfälscht. Der Autor meint, daß die Periode nach Abschluß der Untersuchung eine bessere Kontrollperiode sei. Dies wird auch durch die in den beiden Magnesium-Laborstudien ermittelten Magnesium-Verläufe bestätigt. Von insgesamt 17 untersuchten Probanden waren bei 15 Versuchspersonen die zu Beginn des Versuches ermittelten Serum-Magnesium-Werte höher als der eigentliche - später ermittelte - Ruhewert (vgl. Abb. 11, S. 53 und Abb. 13, S. 56).

Δp_s /+ Lärm-Empfindlichkeit; $|\Delta p_s|$ /+ Lärm-Empfindlichkeit

Beide positiven Korrelationen bestätigen - wie schon bei der Korrelation der systolischen Blutdruckänderungen mit der psychischen Gespanntheit - daß nicht nur der Blutdruckanstieg, sondern auch der Blutdruckabfall eine vegetative Lärmreaktion sein kann. Dies zeigt sich auch beim Vergleich der beiden o. a. Korrelationen für die lärmempfindliche Untergruppe (vgl. Tab. 8, S. 47), wo die Korrelation für die Absolutwerte der Blutdruckänderungen höchst signifikant ist ($R = + 0,73^{+++}$).

Diese Tatsache ist deswegen von entscheidender Bedeutung, da bisher in dem überwiegenden Teil der Lärmwirkungsliteratur das Hauptaugenmerk auf die Erhöhung des Blutdruckes als Reaktion auf Lärm bzw. Streß gelegt wurde. In nur wenigen Arbeiten wird über Blutdruckabfall bzw. Vasodilatation aufgrund von Streßbelastung berichtet.

An Schwangeren fand Klosterkötter (1974) bei einem Schalldruckpegel von 80 dB(A) (weißes Rauschen) nicht nur Vaskonstriktion (38 %), sondern auch Vasodilatation (42 %) und Vasoindifferenz (20 %). Griefahn (1972) fand bei Untersuchungen an nicht schwangeren Frauen je nach Menstruationszyklus unter einer Lärmbelastung von 95 dB(A), zwei Minuten, fünfmal mit drei Minuten Pause (weißes Rauschen), bei 19 bis 24,5 % der Versuchspersonen eine Vasodilatation.

Neus (1981) berichtet über jüngste Experimente, "bei denen bei ca. 20 % der untersuchten Personen der diastolische Blutdruck und bei ca. 30 % der systolische Blutdruck zu Beginn der Belärmung im Sinne der Statistik nicht zufällig abfällt, daß also in bestimmten Prozentsätzen auch Blutdruckabfälle als Lärmwirkung nachweisbar sind."

Auch die Ergebnisse von Schlüter (1981), der 53 Patientinnen in ihren Krankenhauszimmern mit Verkehrslärm von $L_{eq} = 65 \text{ dB(A)}$ über zwölf Stunden beschallt hatte, müssen in dieser Richtung betrachtet werden. Von den 53 Versuchspersonen reagierten 17 Patientinnen mit einer Blutdruckerhöhung, zwölf indifferent und die größere Anzahl - 24 Patientinnen - mit einem signifikanten Blutdruckabfall. Der Autor erklärt diese Reaktion mit einem situationsbedingten - Krankheit und Aufenthalt im Krankenhaus - relativ schnellen Aufgeben des Widerstandes. Dies könnte auch eine Vorstufe für den Widerstandsverlust-Schock ("low resistance shock") sein. Ganong (1971) faßt unter dem Begriff Widerstandsverlust-Schock verschiedene Zustände zusammen, bei denen das Blutvolumen zwar normal, der Fassungsraum des Gefäßsystems durch massive Vasodilatation aber vergrößert ist ("warmer" Schock). Hierher gehört z. B. Ohnmacht infolge übermäßiger Emotionen (Furcht, Gram) bzw. bei - oft unbedeutenden - Verletzungen auftretende Bewußtlosigkeit.

Auch Lehmann und Tamm (1958) kommen zu dem Schluß, daß die Gefäßreaktionen auf Lärm großen individuellen Schwankungen unterliegen und von der vegetativen Ausgangslage abhängen.

Die gleiche Ansicht teilt Heinecker (1965), der anhand von eigenen Untersuchungen zu dem Resultat kommt, daß der Lärm erhebliche Kreislaufreaktionen auszulösen vermag, wobei über individuelle Unterschiede hinaus die Kreislaufausgangslage von besonderer Bedeutung ist.

Zu dem gleichen Thema schreibt Vester (1980):

"... Je nach Typ, das heißt, ob ein Mensch von Natur aus zu einem Überwiegen des Sympathikus neigt oder mehr dem Befehl des Gegenspielers, des Parasympathikus, gehorcht, sind auch die Reaktionen auf Lärm sehr unterschiedlich. Der Sympathotoniker zeigt ein Überschießen der Kreislauf- und Stoffwechselreaktionen nach oben, sein Parasympathikus

kommt praktisch nicht zu Wort. ... Beim Vagotoniker verläuft die Marschrichtung der vegetativen Reaktionen wieder umgekehrt: Lärm bewirkt hier Blutdruckabfall, Pulsverlangsamung, in extremen Fällen sogar Kollaps...".

Die oben diskutierten Ergebnisse der Feldstudie und die erwähnten wenigen Arbeiten, die Blutdruckerniedrigungen bzw. Vasodilatationen als Lärm- bzw. Streßreaktionen beschreiben, sollten dazu führen, diese Tatsachen genauer zu untersuchen und zu bedenken, daß sich - wie Schuschke (1981) erwähnt - eine informationsverdeckende Mittelwertbildung verbiete.

4.3.2 Kurzzeitlärmtest

Die Korrelationen der Lärmwirkungsparameter mit ausgewählten Basiswerten sind in der Tabelle 10, S. 51 aufgeführt.

Δp_{sA} /- Lärm-Empfindlichkeit

Der Kurzzeitlärmtest liefert mit dieser negativen Korrelation ein nicht zu erwartendes Ergebnis. Die Versuchspersonen, die sich lärmempfindlich einschätzten und bei denen vegetative und endokrine Streßreaktionen in der Feldstudie nachgewiesen wurden, reagierten bei diesem Kurztest trotz sehr hoher Schalldruckpegel (100 dB(A)-weißes Rauschen) nicht mit hohen systolischen Blutdruckänderungen, sondern mit geringen Differenzen.

Um zu überprüfen, ob diese geringen Blutdruckänderungen aufgrund eines schon erhöhten Anfangsblutdruckes zustande kamen, wurden die Ruheblutdruckwerte der Feldstudie und des Kurzzeitlärmtests verglichen. Mit der ermittelten hoch signifikanten Korrelation zwischen den beiden Versuchen von $R_{\text{sys}} = + 0,74^{+++}$ und $R_{\text{dia}} = + 0,70^{+++}$ ($N = 40$) ist nachgewiesen, daß die Ruheblutdruckwerte sehr gut übereinstimmen.

Die obige negative Korrelation ist daher so zu interpretieren, daß die lärmempfindlicheren Versuchspersonen sich bei dem sehr kurzen Labortest auf den relativ hohen Lärmpegel gut einstellen konnten.

Auch Markert (1981) stellt in seinen Untersuchungen fest, daß neben der Bezahlung auch die Freude auf das zeitlich nahe Ende sehr entlastend gewirkt hat. Weitere Gedanken zur Problematik von Laborkurztests werden im folgenden Abschnitt 4.4 aufgeführt.

$\Delta p_{\text{SA/E}} / -$ Serum-Magnesium-Konzentration

Diese negativen Korrelationen sind im Zusammenhang mit der unter 4.3.1 (vgl. S. 72 ff.) geschilderten Problematik des Zeitpunktes der Blutabnahme zu sehen. Gemäß der dort erläuterten Vorgänge, sind die Versuchspersonen, die hier eine geringe Serum-Magnesium-Konzentration aufweisen, die streßunempfindlicheren. Die obige negative Korrelation ist also so zu verstehen, daß je lärmunempfindlicher sich die Versuchsperson einschätzt, desto größer sind ihre systolischen Blutdruckänderungen während der Lärmphase verglichen mit der Ruhephase. Scheinbar können sich diese Versuchspersonen in einer kurzen Zeit nicht auf die Lärmbelastung einstellen. Dies gelingt den lärmempfindlicheren besser. Bei einem Feldversuch allerdings können sich die Streßunempfindlicheren -

im Gegensatz zu den Empfindlicheren - in der langen Zeit besser an die zusätzliche Belastung gewöhnen.

Die beiden in diesem Abschnitt diskutierten signifikanten Korrelationen deuten also übereinstimmend auf die überraschende Tatsache hin, daß die Versuchspersonen, die sich als lärmempfindlich einschätzten, auf die kurze Lärmbelastung unter Laborbedingungen mit geringeren Blutdruckänderungen reagierten als die lärmunempfindlichen Versuchspersonen.

4.4 Vergleich Feldstudie - Kurzzeitlärmtest

Beim Vergleich der beiden Untersuchungen können die folgenden wichtigsten Unterschiede festgestellt werden:

- a) die unterschiedlichen Versuchsbedingungen;
- b) Der Kurzzeitlärmtest liefert bezüglich der Lärmempfindlichkeit widersprüchliche Ergebnisse.

Im Feldversuch wurden die Kursteilnehmer in ihrer natürlichen Umgebung (Lehrgangsräume), unter "normalen" Umweltbedingungen (Störung der Informationsverarbeitung durch Verkehrslärm) und genügend lang (sechs Stunden) untersucht. Der Kurztest fand dagegen unter wirklichkeitsfremden, aber reproduzierbaren Laborbedingungen statt.

Daß die Dauer einer Belastung ein zentraler Faktor ist, der zu Leistungsminderungen (und auch zu Streßreaktionen) führt, zeigt auch Veitl (1980) auf. Der Autor beantwortet die Frage, warum Streßforscher lange Zeit erstaunt waren, daß sich keine deutlichen Leistungsunterschiede zwischen Personen nachweisen ließen, die unter dem Einfluß von unterschiedlichen Umgebungsbelastungen (z. B. Lärm) standen, gegenüber solchen, die als Kontrollpersonen keiner Belastung ausgesetzt waren, folgendermaßen:

Bei nur kurz dauernder Belastung reichen die Kompensationsmöglichkeiten voll und ganz aus, um das Leistungsniveau zu halten. Erst nach längerer Belastung brechen diese Kompensationsmechanismen zusammen, und die Leistungsgüte sinkt beträchtlich ab. Ein Streßexperiment, welches den Faktor "Dauer" nicht berücksichtigt, ist wertlos, wenn es darum geht, Sicherheitsgrenzen bestimmter Tätigkeiten festzulegen.

Grandjean (1967) betont auch die ermüdungsfeindliche - und dadurch leistungsfördernde - Wirkung aller Leistungstest, ja, der Testsituation an sich.

Ising et al. (1980a) meinen zu dem Vergleich Feldstudien/Labortests, daß in den meisten Laborexperimenten fast immer wirklichkeitsfremde Belastungssituationen mit kurzzeitigem Lärm als einziger Belastung simuliert werden. In diesen Fällen kann aber nicht mit einer Wirkung gerechnet werden, die auf eine pathologische Reaktion des Organismus zu schließen sei. Eine Gesundheitsgefährdung durch Lärm kann nur dann nachgewiesen werden, wenn praktisch existierende Belastungssituationen wirkungsgetreu simuliert und mit verschiedenen Lärmbelastungen kombiniert untersucht werden. Wichtig scheint es auch, lärmbedingte Störungen der Erholung nach mehrstündiger mentaler Belastung zu untersuchen.

Auch Schuschke (1981) wendet sich der Problematik der Experimentalforschung zu, erwähnt die Untersuchungen von Jansen, "Über die nervöse Belastung durch Lärm" aus dem Jahre 1967 und die Resultate von Goethe und Meyer-Delius (1960) und kommt zu folgender Schlußfolgerung:

"Diese Ergebnisse veranlassen zur Zurückhaltung gegenüber einer in der überreichen Lärm-Sekundärliteratur anzutreffenden unkritischen Übertragung der physiologischen Experimentalforschung auf die Bedingungen des täglichen Lebens, unter denen viele verschiedene endogene und exogene Faktoren und Reize interferieren bzw. um den Effekt konkurrieren (u. a. Medikamente, Alkohol, starke Emotion, körperliche Belastung usw.)."

Der Autor zitiert weiter auch Klosterkötter, der unter Bezugnahme auf wissenschaftliche Redlichkeit nur folgenden Analogieschluß gestatten will:

"Wenn die jeweiligen Alltagsbedingungen des Menschen zufällig mit den Laboratoriumsbedingungen übereinstimmen, und wenn die Geräuschreize mit den Laboratoriumsgeräuschen vergleichbar sind, dann wird man bei gesunden Menschen gleicher Altersklasse gleichartige, schwächere oder stärkere Reizreaktionen erwarten können."

So muß die Bewertung und Anwendung der bereits erwähnten Ergebnisse des "neuen standardisierten Streßtests" von Turek (1977) (vgl. S. 66) mit großer Vorsicht erfolgen. Die Resultate aus dieser experimentellen Studie können nicht über Streßreaktionen der Versuchspersonen in andere, tagtägliche Umweltbedingungen übertragen werden.

Die gegensätzlichen Ergebnisse der untersuchten Streßparameter in der Feldstudie und dem Kurzzeitlärmtest in dieser Arbeit, lassen die Diskussion über die Bewertung eines Labortestes aufkommen.

Der Vorzug der Labortests liegt u. a. auch an der Reproduzierbarkeit der experimentellen Bedingungen, d. h. es werden konstante, nur im Labor herstellbare "Umweltsituationen" geschaffen. Gleichzeitig existiert hier aber die Begrenzung der Aussagefähigkeit dieser Experimente.

Im Gegensatz zu den Laborkurztests, gestatten Feldstudien schärfere Schlußfolgerungen für epidemiologische Untersuchungen bezüglich chronisch pathologischer Veränderungen im menschlichen Organismus.

Schuschke (1981) erwähnt beispielhaft eine aussagekräftige längerfristige Feldstudie, die von Weston und Adams im Jahre 1935 in einer englischen Textilfabrik durchgeführt wurde. Bei

dieser Untersuchung wurde die durchschnittliche Produktionsleistung je Woche bei zwei Gruppen von je zehn Arbeitern (Webern) jeweils mit und ohne Gehörschutz bei 95 dB über einen Zeitraum von einem Jahr (!) festgestellt. Die durchschnittliche Produktionssteigerung betrug bei der lärmgeschützten Gruppe 12 %.

4.5 Serum-Magnesium-Konzentration

Das entscheidende Ergebnis der beiden Magnesium-Laborstudien ist die Bestätigung, daß unter einer Belastung, sei es Lärm oder körperliche Anstrengung, die Veränderungen der Serum-Magnesium-Konzentrationen mit hoher Geschwindigkeit erfolgen. Aus den im Ergebnisteil gezeigten Kurvenverläufen (vgl. S. 53 und S. 56) ist zu ersehen, daß unter Lärm die Serum-Magnesium-Konzentration mit einer Halbwertszeit von 1 bis 1,5 Minuten ansteigt bzw. nach Lärmende mit derselben Halbwertszeit abfällt.

Über rasche Veränderungen der Serum-Magnesium-Konzentration berichtet schon Perger (1956) in seiner interessanten Arbeit über Änderungen der Abwehrlage des Organismus bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises. Die Änderungen der Abwehrlage konnten durch Verfolgung verschiedener Blutspiegelerwerte - neben Magnesium auch Calcium, Cholesterin, Eosinophile und Eiweißfraktionen - erfaßt werden und wurden von Perger als Maß für die vegetativen Vorgänge betrachtet. Der Autor zeigt anhand von verschiedenen Erkrankungen, daß das Serum-Magnesium im Gegensatz zu den anderen gemessenen Parametern als einziges bei der ersten Abwehrphase, der Schockphase, innerhalb sehr kurzer Zeit ansteigt, um dann bei der Gegenschockphase sehr schnell - wiederum im Gegensatz zu den anderen Parametern - abzufallen. Die schnellsten Veränderungen des Serum-Magnesiums erfolgten bei dem Auftreten von anaphylaktischen Reaktionen mit in Minuten ablaufenden Schockveränderungen. Die Serum-Mg⁺⁺-Konzentration steigt hierbei als einziger Parameter von 1,2 mmol/l auf 2,0 mmol/l (= 67 %) innerhalb von 40 Minuten.

Über Veränderungen der Serum-Mg⁺⁺-Konzentration unter Streß berichten auch Günther et al. (1978). Bei Untersuchungen mit Ratten, die einer kombinierten Belastung (Mg-Mangel und Lärm-

belastung) ausgesetzt waren, fanden die Autoren bei gestreßten Tieren eine höhere Serum-Mg⁺⁺-Konzentration als bei den ungestreßten. Als Erklärung wird einmal die geringere Gewichtszunahme im Streß diskutiert, zum anderen können die durch Streß aktivierten Katecholamine Mg⁺⁺-Ionen aus den Zellen, besonders aus den Herzmuskelzellen, freisetzen. Die Autoren verweisen auf Untersuchungen von Rayssiguier aus dem Jahre 1973, wo eine Injektion von Adrenalin oder Streß an Ratten zu einer Zunahme der Mg-Konzentration im Serum führte und nach Unterbinden der Adrenalinsekretion aus dem Nebennierenmark die S-Mg⁺⁺-Konzentration im Mg-Mangel stärker absank als bei vorhandenem Nebennierenmark.

Zu interessanten Ergebnissen kommen auch Ising et al. (1981) bei Untersuchungen des Einflusses von akuten und chronischen Lärmbelastungen auf den Mg-Stoffwechsel. In den Tierexperimenten wurden 42 Wistarratten in zwei Gruppen mit unterschiedlicher Magnesium-Mangel-Nahrung eingeteilt. Die Hälfte der Tiere wurde zwei Monate lang zwölf Stunden und im dritten Monat 16 Stunden pro Tag mit stochastisch eingeschaltetem Rauschen (Dauerschallpegel 95 dB) belastet. Die andere Hälfte der Tiere (Kontrollgruppe) wurde nicht mit Lärm belastet. Nach Abschluß der zwölfwöchigen Versuchsperiode wurde den Kontrolltieren zur Bestimmung der Serum-Magnesium-Konzentration aus der Schwanzspitze Blut entnommen. Bei den beschallten Tieren wurde am Ende der Untersuchungsperiode zweimal Blut aus der Schwanzspitze entnommen, und zwar einmal während der letzten Beschallungsstunde (= akuter Lärmeffekt) und zum anderen nach einer 24-stündigen Lärmpause (= chronischer Lärmeffekt). Bei den beiden Mg-Mangel-Gruppen war die Serum-Mg⁺⁺-Konzentration bei Blutentnahme unter Lärm um 41 % bzw. 11 % höher als die Kontrollwerte. Demgegenüber lagen die S-Mg⁺⁺-Konzentrationen bei Blutabnahme nach der Lärmpause um 12 % bzw. 24 % unter den Kontrollwerten. Die Autoren weisen anhand der Ergebnisse der einen Mg-Mangel-Gruppe nach, daß bei Blutabnahme unter Lärm die Serum-Magnesium-Konzentration schein-

bar im Normbereich lag, dies aber durch den akuten Lärmstreß hervorgerufen wurde. Der nach der Lärmpause ermittelte Ruhewert der S-Mg⁺⁺-Konzentration (d. h. chronischer Ruhewert) lag dagegen deutlich im pathologischen Bereich.

Zu den biochemischen Mechanismen bei Magnesium-Mangel und Streß schreibt Günther (1978):

"Im Mg-Mangel nehmen infolge einer Permeabilitätssteigerung der zelluläre K⁺- und Mg-Gehalt ab, der zelluläre Na⁺- und Ca-Gehalt zu. Die erhöhte intrazelluläre Na⁺-Konzentration bewirkt eine Freisetzung von Ca²⁺ aus Mitochondrien. Die Zunahme der intrazellulären Ca²⁺-Konzentration führt zu einer weiteren Permeabilitätssteigerung für Na⁺ und K⁺ sowie über eine Aktivierung der Adenylcyclase zum Ansteigen der c-AMP-Konzentration. Die erhöhte Konzentration von c-AMP bewirkt eine Zunahme der Zellpermeabilität und der Synthese von Kollagen und Glykosaminoglykanen.

Mg-Mangel und Streß verursachen eine vermehrte Freisetzung von Katecholaminen, besonders von Noradrenalin. Diese führen über eine Aktivierung der Adenylcyclase zum Ansteigen des c-AMP und verstärken auf diese Weise die Wirkungen des Mg-Mangels."

Ising (1980a) diskutiert seine Untersuchungsergebnisse und meint abschließend:

"Die angeführten experimentellen Arbeiten zeigen eine Abnahme des Mg-Gehaltes im Blut bei langer Lärmbelastung. Die unter Streß freigesetzten Katecholamine können offenbar über eine Erhöhung der Membranpermeabilität für Magnesium den Serum-Mg-Spiegel akut erhöhen. Hierdurch wird kurzzeitig die Streßbewältigung unterstützt. Als Folge einer Erhöhung des S-Mg-Spiegels wird aber mehr Magnesium ausgeschieden, was bei knapper Mg-Zufuhr durch die Nahrung langfristig zu einer Mg-

Verarmung führen kann. Dieser Prozess kann durch Mg-Mangel im Herzmuskel die Anfälligkeit für Herzrhythmusstörungen und das Risiko für Kammerflimmern erhöhen."

Insgesamt zeigen die Untersuchungen, daß bei chronischer Lärmbelastung und marginaler Mg-Zufuhr intrazelluläre Elektrolytverschiebungen entstehen. Der Streß, den eine Lärmbelastung im Organismus verursacht, hängt sehr von diesen Elektrolytverschiebungen ab.

Neueste Untersuchungen von Ising et al. (1981) unterstreichen diese Aussagen und zeigen, daß Reaktionen auf eine konstante Belastung (Lärm oder ähnlicher Stressor) in einem Organismus, der zwar nur einige Prozent des intrazellulären Magnesiums verloren hat (aber erheblich Ca^{++} intrazellulär aufgenommen hat), um ein vielfaches stärkere Streßwirkungen auslösen, als bei Organismen mit normalem intrazellulären Mg-Gehalt. Diese wichtigen Beziehungen zwischen Mg-Mangel und Lärmempfindlichkeit bestätigen auch klinische Beobachtungen an Patienten aus der Krankheitsgruppe des sogenannten Tetanischen Syndroms. Mit abnehmendem Mg-Gehalt der Erythrozyten litten diese Patienten zunehmend unter erhöhter Lärmempfindlichkeit (Fehlinger, 1978). Und nochmals sei der von Smith (1960) geschilderte Fall einer Patientin erwähnt, die bei Mg-Mangel über eine akustische Überempfindlichkeit klagte (vgl. S. 15).

Die hier referierten Arbeiten und die eigenen Untersuchungen zeigen nicht nur die Bedeutung des Magnesium-Stoffwechsels unter Streß, sondern zeigen auch auf, daß die Bestimmung der Serum-Mg⁺⁺-Konzentration ein aussagekräftiger Streßparameter sein könnte.

Abschließend sollen die in dieser Arbeit diskutierten Ergebnisse mit Hilfe eines nach Ising (1980a) modifizierten Wirkungsschemas dargestellt werden (Abbildung 17). Grundlage

dieses Schemas ist die Feststellung von Grandjean (1977), nach dem im Falle der Lärmwirkungen der Übergang vom Wohlbefinden zur Krankheit fließend ist. Störung und Belästigung sind im Vorfeld krankhafter Zustände situiert und können als Warnsignal gewertet werden, die den Menschen veranlassen sollen, sich der Lärmbelastung zu entziehen, um gesundheitsschädliche Wirkungen zu verhindern.

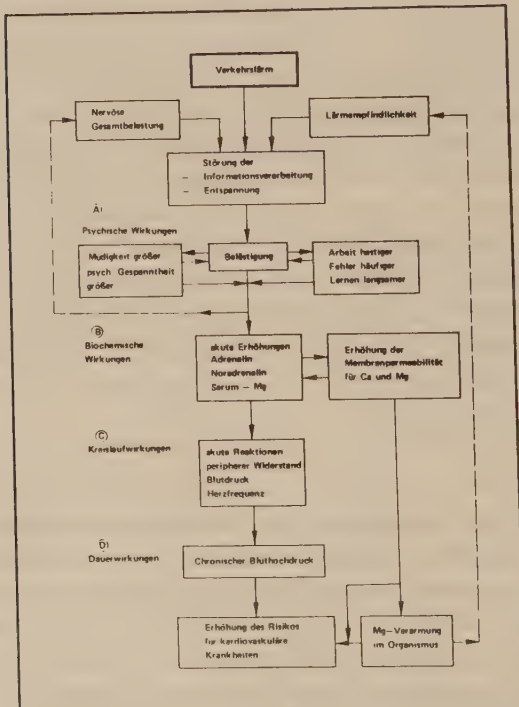


Abb. 17: Wirkungsschema für die Erhöhung des Risikos für kardiovaskuläre Krankheiten

Das Lärmwirkungsschema in Abbildung 17 gestattet eine Zusammenfassung der folgenden - in der vorliegenden Arbeit ausführlich beschriebenen - Lärmwirkungen:

- Psychische Wirkungen manifestieren sich akut in Form von u. a. Belästigungen, größerer Müdigkeit, größerer psychischer Gespanntheit (A).
- Biochemische Wirkungen, wie z. B. erhöhte Noradrenalinausscheidung im Urin (B), sowie Reaktionen des Blutdrucks und anderer Kreislaufwirkungen (C), kann man als indirekte Lärmwirkungen verstehen.
- Bei langjähriger Lärmbelastung besteht die Gefahr, daß es zu irreversiblen Störungen im Organismus kommen kann, wie z. B. Gefäßveränderungen, chronischer Bluthochdruck (D).
- Langjährige Lärmbelastung kann - bei unzureichender Mg-Zufuhr - ebenfalls zu einer Magnesium-Verarmung führen, wodurch die Lärmempfindlichkeit erhöht wird und somit ein Kreisprozeß möglich ist (D).

5. Zusammenfassung

In drei verschiedenen Untersuchungsreihen wurden die psychischen, physischen und biochemischen Lärmwirkungen einer Gruppe von Versuchspersonen untersucht.

In einer Feldstudie wurden 43 Teilnehmer eines Lehrganges sechs Stunden lang während des Unterrichts mit Verkehrslärm beschallt. Es wurden Mittelungspegel von $L_m = 60 \text{ dB(A)}$ bzw. 50 dB(A) verwendet.

Bei der mittleren Lärmbelastung von 60 dB(A) wurden statistisch signifikante Erhöhungen der Müdigkeit (+ 0,9 Skt auf einer fünfstufigen Skala, $p < 0,001$), der psychischen Gespanntheit (+ 0,6 Skt, $p < 0,001$), der Noradrenalinausscheidung (+ 10 %, $p < 0,01$), sowie des Blutdruckes ($\Delta p_{\text{sys}} = + 1,7 \text{ mm Hg}$, $p < 0,05$; $\Delta p_{\text{dia}} = + 1,2 \text{ mm Hg}$, $p < 0,05$) gegenüber dem Unterricht ohne Lärm festgestellt. Für eine lärmempfindliche Untergruppe (17 Versuchspersonen) waren die Erhöhungen bei der psychischen Gespanntheit (+ 1,0 Skt, $p < 0,001$) und bei dem Blutdruck ($\Delta p_{\text{sys}} = + 3,5 \text{ mm Hg}$, $p < 0,01$; $\Delta p_{\text{dia}} = + 2,0 \text{ mm Hg}$, $p < 0,05$) noch deutlicher.

Bei der mittleren Lärmbelastung von 50 dB(A) konnten im Vergleich mit Unterricht ohne Lärm keine signifikanten Lärmreaktionen festgestellt werden.

In einem Kurzzeitlärmtest wurden dieselben Versuchspersonen in einer Laborstudie einer Lärmbelastung von $L_m = 100 \text{ dB(A)}$ (weißes Rauschen) fünf Minuten lang ausgesetzt und die lärmbedingten Blutdruckreaktionen untersucht. Gemittelt über die Lärmphase ist sowohl der systolische, als auch der diastolische Blutdruck signifikant angestiegen ($\Delta p_{\text{sys}} = 1,9 \text{ mm Hg}$,

$$\Delta p_{\text{dia}} = 3,2 \text{ mm Hg, } p < 0,001).$$

Mit Hilfe von Korrelationsanalysen der Lärmwirkungsparameter untereinander und mit medizinischen Basiswerten konnten unterschiedliche Lärmreaktionen der Versuchspersonen in der Feldstudie (d. h. lange Kommunikationsstörung durch Lärm) und in dem Kurzzeitlärmtest (kurze Lärmbelastung) festgestellt werden. Die Ergebnisse zeigen, daß sich die lärmempfindlicheren Versuchspersonen auf eine kurze Lärmbelastung besser einstellen können, als auf eine langdauernde Informationsbehinderung durch Lärm. Die Problematik der Vergleichbarkeit der Ergebnisse Feldversuch contra Laborstudie werden in einem Abschnitt diskutiert und Untersuchungsergebnisse anderer Autoren aufgeführt.

Die Korrelationsanalysen erbrachten des weiteren den Nachweis, daß es sowohl bei der Feldstudie, als auch bei dem Kurzzeitlärmtest zu lärmbedingten Blutdruckabfällen kommt, einer Lärmreaktion, die bisher in der Lärmwirkungsliteratur nur wenig beachtet wurde.

In einer Magnesiumstudie wurden die Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentration unter fünfminütigem Lärm (110 dB(A) - weißes Rauschen bzw. Motorradrennen) und bei Ergometerbelastung (50 W - zehn Minuten) an 17 Versuchspersonen untersucht. Es wurden signifikante Erhöhungen der Serum-Magnesium-Konzentrationen bei allen Belastungen festgestellt (Lärm: + 1,9 % bzw. + 1,5 %; Ergometer: + 6,9 %, $p < 0,05$). Die schnellen streßbedingten Änderungen der Serum-Magnesium-Konzentrationen werden diskutiert, mit anderen Veröffentlichungen verglichen und auf die Möglichkeit, die Serum-Magnesium-Konzentration als Streßparameter zu verwenden, hingewiesen.

6. Literaturverzeichnis

- Albert, G. D., Morita, Y., Iseri, L. T.: Serum Magnesium and Plasma Sodium Levels in Essential Vascular Hypertension. *Circulation*, Vol. XVII, 761 - 764, 1958
- Altura, B. M.: Sudden-death Ischemic Heart Disease and Dietary Magnesium Intake: Is the Target Site Coronary Vascular Smooth Muscle? *Medical Hypotheses* 5: 843 - 848, 1979
- Arguelles, A. E., Martinez, M. A., Pucciarelli, E., Disisto, M.: Endocrine and Metabolic Effects of Noise in Normal, Hypertensive and Psychotic Subjects. In: Welch, B. L., Welch, A. S. (Hrsg.): *Physiological Effects of Noise*. New York 1970
- Ashford, N. A.: Noise, General Stress Responses, and Cardiovascular Disease Processes: Review and Reassessment of Hypothesized Relationships. Center for Policy Alternatives, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 02139, Jan. 1979
- Ax, A. F.: The Physiological Differentiation Between Fear and Anger in Humans. *Psychosomat. Med.*, 15, 433 - 442, 1953 aus: Schönplflug W.: *Methoden der Aktivierungsforschung*, H. Huber Verlag, 1969
- Carlestan, G. Karlsson, C.-G., Levi, L.: Stress and Disease in Response to Exposure to Noise - A Review.

Proc. of the Internat. Congr. on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, Yugoslavia (ed. Ward, W. D.), U. S. Environ. Protection Agency, Washington, 479 - 486, 1973

Classen, H. G.: Streß und Magnesium. Vortrag anlässlich des Expertengesprächs über "Magnesium und Gesundheit" im Inst. für Wasser-, Boden- und Luft-hygiene des Bundesgesundheitsamtes Berlin, 14. März 1980. Aus dem Institut für Lebensmitteltechnologie - Bereich Pharmak. und Toxik. der Ernährung - der Universität Hohenheim

Clayton, D. G.: Water Hardness and Cardiovascular Mortality in England and Wales. Europ. Collog.: Hardness of Drinking Water and Public Health, Luxemburg 1975

Darrow, C. W.: Physiological and Clinical Tests of Autonomic Function and Autonomic Balance. Physiol. Review, 23, 1 - 36, 1943

Elmadjian, F. J., Hope, J., Lamson, E. T.: Excretion of Epinephrine and Norepinephrine in Various Emotional States. J. Clin. Endocr., 17, 608 - 620, 1957

v. Eiff, A. W. (Hrsg.): Seelische und körperliche Störungen durch Streß. Fischer, Stuttgart - New York 1976

v. Eiff, A. W., Piekarski, C.: Stress Reaktionen of Normotensives and Hypertensives and the Influence of Female Sex Hormones on Blood Pressure Regulation. In: De Jong, W. et al. (Eds.): Hyper-

tension and Brain Mechanism, Progress in Brain Research, Vol. 47, 289 - 299, Elsevier/North-Holland Biomed. Press, Amsterdam 1977

v. Eiff, A. W., Neus, H.: Verkehrslärm und Hypertonierisiko, 1. Mitteilung. Münch. med. Wochenschr., 122, Nr. 24, 894 - 896, 1980a

v. Eiff, A. W. (Hrsg.): Streß - Phänomenologie, Diagnose und Therapie in den verschiedenen Lebensabschnitten. Thieme, Stuttgart - New York 1980b

Epstein, L.: Ischemic Heart Disease in Israel: Changes over 30 Years. Israel J. of Medical Sciences, Vol. 15, No. 12, 993 - 998, 1979

Fehlinger, R., Littmann, E.: Ergebnisse klinischer, para-klinischer und testpsychologischer Untersuchungen beim tetanischen Syndrom. 1. - 3. Mitteilung. Deut. Gesundheitsw. 33, 592, 1978

Funkenstein, D. H., King, S. H., Drolette, M. E.: The Direction of Anger during Laboratory Stress-inducing Situation. Psychosomat. Med. 19, 17 - 29, 1957

Frühstorfer, B., Hensel, H.: Extra-auditory Responses to Long-term Intermittent Noise Stimulation in Humans. American Physiolog. Soc., 985 - 993, 1980

Ganong, W. F.: Medizinische Physiologie. Springer, Berlin - Heidelberg - New York 1971

- Günther, Th., Ising, H., Merker, H. J.: Elektrolyt- und Kollagengehalt in Rattenherzen bei chronischem Magnesiummangel und Streß. J. Clin. Chem. Clin. Biochem., Vol. 16, No. 5, 293 - 297, 1978
- Grandjean, E.: Ermüdung und Leistungsbereitschaft. Naturwiss. Rundschau, 20, 511 - 518, 1967
- Grandjean, E.: Lärmimmissionen als Umweltfaktor. Naturwiss. Rundschau, 30, H. 11, 397 - 403, 1977
- Griefahn, B.: Examples of Noise-induced Reactions of Autonomic Nervous System during Normal Ovarian Cycle. Proc. of the Intern. Congr. on Noise as a Public Health Problem, Dubrovnik, Yugoslavia (ed. Ward, W. D.) U. S. Environ. Protection Agency, 459 - 468, Washington 1973
- Gruber, J.: Lärm: Wirkungen und Bewertung. Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschr., Reihe 11, Nr. 19, 1975
- Guski, R.: Fluglärmwirkungen - Psychologischer Untersuchungsteil. DFG-Forschungsbericht Fluglärmwirkungen, Hauptbericht 1974
- Heinecker, R.: Lärm und Kreislauf. Deutsche med. Wochenschr. 24, 1107 - 1109, 1965
- Hiusman, B. D.: Magnesium. Med. Welt 24, H. 42, 1594 - 1597, 1973
- Holtmeier, H.-J.: Herzinfarkt und Schock. Thieme, Stuttgart 1969

Holtmeier, H.-J.: Das Magnesiummangel-Syndrom. Monatssk.
ärztl. Fortbild. Nr. 2, 92 - 100, 1972

Holtmeier, H.-J., Marongiu, F. A.: Elektrolyt- und Wasser-
haushalt. In: Kühn, H. A. (Hrsg.): Innere
Medizin. Springer, Berlin - Heidelberg - New
York 1971

Ising, H., Günther, Th., Merker, H. J., Haacke, M., Parcell,
J.: Bindegewebsvermehrung in Rattenherzen bei
Lärmbelastung und Magnesiummangel. Zbl. Bakt.
Hyg., I. Abt. Orig. B 162, 550 - 557, 1976

Ising, H.: Kombinationsbelastung und Gesundheit. Forum,
Städte, Hygiene, 28, 1, 1977

Ising, H., Merker, H. J., Günther, Th., Gelderblom, H.,
Özel: Increase of Collagen in the Rat Heart
Induced by Noise. Environm. Int. 2, 95 - 105,
1979a

Ising, H., Wittke, G.: Auswirkungen mehrstündiger Infraschall-
exposition auf Versuchspersonen. Forum, Städte,
Hygiene 30, 49 - 52, 1979b

Ising, H., Dienel, D., Günther, Th., Markert, B.: Health
Effects of Traffic Noise. Int. Arch. Occup.
Environm. Health, 47, 179 - 190, 1980a

Ising, H., Günther, Th., Havestadt, C., Krause, Ch. et al.:
Blutdrucksteigerung durch Lärm am Arbeits-
platz. Forschungsbericht Nr. 225 der Bundesan-
stalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung,
Dortmund 1980b

- Ising, H., Günther, Th., Handrock, M., Michalak, R. et al.:
Magnesium und Lärmwirkungen. Inst. für Wasser-,
Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheits-
amtes Berlin, 1981
- Jansen, G.: Zur nervösen Belastung durch Lärm. Steinkopff,
Darmstadt 1967
- Jansen, G., Klosterkötter, W.: Lärm und Lärmwirkungen. Ein
Beitrag zur Klärung von Begriffen. Bundes-
ministerium des Inneren, Bonn 1980
- Keul, J., Lehmann, M.: Psychophysische Reaktionen bei extre-
men Belastungen. In: v. Eiff, A. W. (Hrsg.):
Streß. Thieme, Stuttgart - New York 1980
- Klosterkötter, W.: Neue Erkenntnisse über Lärmwirkungen.
Zeitschrift Kampf dem Lärm 21, H. 4, 103 -
111, 1974
- Klotzbücher, E., Roloff, D., Fichtel, K.: Über den Einfluß
von Lärm verschiedener Intensität auf Energie-
umsatz und Herzfrequenz bei dynamischer Muskel-
arbeit unterschiedlicher Schweregrade.
Dt. Gesundheitswesen 31, H. 15, 706 - 709, 1976
- Klotzbücher, E., Fichtel, K.: Der Einfluß des Lärms auf
Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte
physiologische Funktionen bei unterschiedlichen
Kombinationen zwischen Lärm und dynamischer
Muskelarbeit. Int. Arch. Occup. Environm.
Hlth. 41, 237 - 251, 1978
- Knipschild, F.: V. Medical Effects of Aircraft Noise: Commu-
nity Cardiovascular Survey. Int. Arch. Occup.
Environm. Hlth. 40, 185 - 190, 1977a

- Knipschild, P., Oudshoorn, N.: VII. Medical Effects of Aircraft Noise: Drug Survey. Int. Arch. Occup. Environm. Hlth. 40, 197 - 200, 1977b
- Knipschild, P., Sallé, H.: Road Traffic and Cardiovascular Disease. Int. Arch. Occup. Environm. Hlth. 40, 55 - 59, 1979
- Koepchen, H. P.: Kreislaufregulation. In: Gauer/Kramer/Jung (Hrsg.): Physiologie des Menschen, Band 3, Herz und Kreislauf. Urban & Schwarzenberg, München 1972
- Kryter, K. D.: The Effects of Noise on Man. Academic Press, New York and London 1970
- Kryter, K. D.: Extra-auditory Effects of Noise. In: Henderson, D. et al. (eds.): Effects of Noise on Hearing. Raven Press, New York, 531 - 546, 1976
- Legewie, H.: Indikatoren von Kreislauf, Atmung und Energieumsatz. In: Schönplflug, W. (Hrsg.): Methoden der Aktivierungsforschung. H. Huber, Bern - Stuttgart - Wien, 157 - 194, 1969
- Lehmann, G., Tamm, J.: Die Beeinflussung vegetativer Funktionen des Menschen durch Geräusche. Forsch.-Ber. des Wirtschafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westf., Nr. 257, 1 - 37, 1956
- Levi, L. (Hrsg.): Stress and Distress in Response to Psychological Stimuli. Acta Medica Scand., Suppl. 528, 1972
- Levi, L.: Nebenniere und Schilddrüse. In: v. Eiff, A. W. (Hrsg.)

Seelische und körperliche Störungen durch
Streß. Fischer, Stuttgart - New York, 47 -
63, 1976

Mandler, G.: The Conditions for Emotional Behaviour. In:
Glass, D. C.: Neurophysiology and Emotion.
Rockefeller Univ. Press, New York 1967

Marier, J. R., Neri, L. C., Anderson, T. W.: Publication
No. NRCC 17581 of the Environm. Secretariat
National Research Council Canada, 1979

Markert, B., Ising, H.: Wohlbefinden, Aktiviertheit und
Leistungsverhalten bei Verkehrslärm. Z. für
Lärmbekämpfung 28, 20 - 24, 1981

Mason, J. W., Mangan, G. Jr., Brady, J. V., Conrad, D.:
Current Plasma Epinephrine, Norepinephrine,
and 17-Hydroxy-Corticosteroid Levels during
Conditioned Emotional Disturbance in Monkeys.
Psychosom. Med., 23, 340 - 353, 1961

Nitsche, W.: Physiologie und Klinik des Magnesiums. Zeit-
schrift für Allgemeinmedizin, H. 2, 81 - 92,
1975

Neus, H.: Auswirkungen des Lärms auf den Blutdruck. Zeitschr.
für Lärmbekämpfung 28, 105 - 110, 1981

Perger, F.: Zur Frage der Wiederherstellung normaler unspe-
zifischer Abwehrleistungen bei Erkrankungen
des rheumatischen Formenkreises. Ärztl. For-
schung 11, 341 - 352, 1956

- Reichardt, W.: Grundlagen der Technischen Akustik.
Geest & Portig, Leipzig 1968
- Rohrmann, B.: Empirische Studien zur Entwicklung von Antwortskalen für die sozialwissenschaftliche Forschung. Z. Sozialpsychol. 9, 222 - 245, 1978
- Rose, R. M., Hurst, H. W., Jenkins, C. D.: Air Traffic Controller Health Change Study. Report to the Federal Aviation Administration, 1978
- Sayers, A.: Physiological Consequences of Informational Load and Overload. In: Venables, P. H., Christie, M. J. (eds.): Research in Psychology, 96 - 124, 1975
- Seelig, M.: Magnesium-Deficiency in the Pathogenesis of Diseases. Plenum Medical Book Comp., New York 1980
- Schlüter, H.-J.: Persönliche Mitteilungen über durchgeführte Untersuchungen (Veröffentl. in Vorbereitung), 1981
- Schönpflug, W. (Hrsg.): Methoden der Aktivierungsforschung. H. Huber, Bern - Stuttgart - Wien 1969
- Schönpflug, W., Schulz, P.: Lärmwirkungen bei Tätigkeiten mit komplexer Informationsverarbeitung. Forschungsbericht des Umweltbundesamtes Nr. 79-105 01 201, Berlin 1979

Schulte, W., Heusch, G., v. Eiff, A. W.: Der Einfluß von experimentellem Verkehrslärm auf vegetative Funktionen von Normotonikern und Hypertonikern nach Streß. Basic Res. Cardiol. 72, 575 - 583, 1977

Schuschke, G.: Lärm und Gesundheit. Volk und Welt, Berlin 1981

Statistisches Jahrbuch 1980 für die BRD. W. Kohlhammer Verlag, 1980

Smith, W. O., Hammarsten, J. F., Eliel, L. P.: The Clinical Expression of Magnesium Deficiency. J. A. M. A., Vol. 174, No. 1, Sept. 3, 159 - 160, 1960

Thackray, R. L., Touchstone, R. M., Bailey, J. P.: Reactions to Sonic Booms: A Report of 2 Studies and a General Evaluation of Startle Effects. Aviation, Space and Environ. Med., Vol. 46, No. 4, 369 - 377, 1975

Theyer, R. E.: Factor Analytic and Reliability Studies on the Activation-Deactivation Adjective Check List. Psych. Rep. 42, 747 - 756, 1978

Tiefenbach, W.: Einige methodische Voraussetzungen für ein psychophysiologisches Untersuchungsverfahren zur Beurteilung des vegetativen Funktionszustandes des kindlichen Organismus. Wiss. Z. Humboldt-Univers. Berlin. Math.-Nat.-Wiss. R. 22, 211 - 212, 1973

Tsaneva, N. et al.: The Catecholamines as a Criterium for the Functional State in Different Activities. Agressologie 16, 179, 1975

- Turek, J. V., v. der Kuy, A., Pelgrim, C., de Kreuzer, F.
et al.: Blood Pressure Response to a New
Standardized Stress Test. *Neth. J. Med.* 20,
104 - 106, 1977
- Vaitl, D.: Leistungsminderung durch Streß. In: v. Eiff, A. W.
(Hrsg.): *Streß*. Thieme, Stuttgart - New York,
44 - 58, 1980
- Vester, F.: *Phänomen Streß*. Deutscher-Taschenbuch Verlag,
Nr. 1396, München 1980
- Welch, B. L., Welch, S. A.: *Physiological Effects of Noise*.
Plenum Press, New York - London 1970
- Weston, H. C., Adams, S.: The Performance of Weavers Under
Varying Conditions of Noise. In: *Fifteenth
Annual Report of Industrial Health Research
Board*. Her Majesty's Stationary Office, Rep.
No. 70, London 1935, zit. nach Schuschke, G.,
1981
- Wilkinson, R. T.: Some Factors Influencing the Effect of
Environmental Stressors Upon Performance.
Psychol. Bull. 72, 260 - 272, 1969
- Woodworth, R. S., Schlosberg, H.: *Experimental Psychology*.
Revised Ed. New York: Holt, Rinehart and
Winston, 1954.

7. Anhang

Anlage 1: Laborbericht

Beispiel des Laborberichtes mit den für die Korrelationsanalysen untersuchten Blutparametern (Glukose und CK wurden nicht verwendet).

1000 BERLIN 33. DEN		12.09.90	BLATT: 1	
INSTITUT FUER SOZIALMEDIZIN UND EPIDEMIOLOGIE DES BUNDESGESUNDHEITSAMTES FACHGEBIET KLIN. CHEMIE LABORBERICHT				
PROB.-NR: 631793		ALTER: 39		
PROBENEINGANG: 10.09.90		GESCHL.: M		
UNTERSUCHUNG	BEFUND		NORMALBEREICH	

** AUTOANALYZER				
GLUKOSE 8021	5.9	MMOL/L	3.6 -	6.1
GES. CHOLEST. 8003	6.0	MMOL/L	4.4 -	6.5
HARNSAURE 8063	460	MIKROMOL/L	180 -	440
KREATININ 8009	113	MIKROMOL/L	65 -	120
GES. BILIR. 8010	9.9	MIKROMOL/L	3.0 -	23.0
THIOCYANAT 8011	55	MIKROMOL/L	20 -	120
**				
NATRIUM 8019	139	MMOL/L	136 -	144
KALIUM 8018	4.37	MMOL/L	3.70 -	5.70
CHLORID 8016	103	MMOL/L	93 -	107
CALCIUM 8003	2.45	MMOL/L	2.20 -	2.60
** ENZYME				
GOT 8023	15.2	U/L	5.0 -	19.0
GPT 8024	13.6	U/L	5.0 -	22.0
GAMMA-GT 8022	12.0	U/L	6.0 -	35.0
AP 8023	173	U/L	50 -	180
LDH 8013	166	U/L	120 -	240
CK 8064	77.7	U/L	0.0 -	70.0
** ELEKTROPHORESE				
ALBUMIN 8027	63.9	V.H.	56.0 -	71.0
ALPHA1-GLOB. 8028	2.9	V.H.	2.5 -	4.5
ALPHA2-GLOB. 8029	6.7	V.H.	6.0 -	11.5
BETA-GLOB. 8030	11.0	V.H.	5.5 -	11.0
GAMMA-GLOB. 8031	19.5	V.H.	10.5 -	20.0
** BLUTBILD				
LEUKOZYTEN 8032	6.4	MRD/L	4.6 -	10.8
ERYTHROZYTEN 8033	5.11	B10/L	3.90 -	5.90
HAEMOGLOBIN 8034	159	G/L	135 -	190
CCV 8035	0.441		0.380 -	0.550
MCV 8036	37	FL	80 -	94
MCH 8037	30.9	PG	27.0 -	31.0
MCHC 8038	336	G/L	320 -	360
* WERT LIEGT AUSSERHALB DES NORMALBEREICHES				

Anlage 2: Lärmempfindlichkeit

Nachfolgend sind die Kriterien, nach denen die Aufgabenselektion erfolgte und die verwendeten Statements mit ihren Schwierigkeitsindizes und Trennschärfekoeffizienten angegeben.

Die Aufgabenselektion erfolgte nach folgenden Kriterien:

- 1) Es wurden alle Testaufgaben ausgeschieden, deren Schwierigkeitsindex s_i außerhalb der Schwierigkeitsgrenzen von $20 < s_i < 80$ lagen.

Der Schwierigkeitsindex ist definiert durch

$$s_i = 100 \cdot N_R / N \quad \text{mit } N_R = \text{Anzahl der Versuchspersonen, die} \\ \text{die Aufgabe richtig beantwortet} \\ \text{haben,} \\ N = \text{Gesamtzahl der Versuchspersonen.}$$

- 2) Von den verbleibenden Testaufgaben wurden diejenigen mit den größten Trennschärfekoeffizienten r_{it} beibehalten. Der Trennschärfekoeffizient ist als punktbiserialer Korrelationskoeffizient zwischen dem Punktwert einer Testaufgabe und dem Summenwert des Testes (Rohwert) definiert. Aufgaben mit $r_{it} < 0.4$ wurden ausgeschieden.

Statements zur Lärmempfindlichkeit:

- 1) Ärgern Sie sich oft über den Straßenverkehrslärm?
- 2) Halten Sie sich für lärmempfindlicher als Ihre Familienmitglieder oder Freunde?
- 3) Empfinden Sie leise, tiefe Geräusche (z. B. Lkw im Leerlauf) als unangenehm?

- 4) Können Sie sich auch dann noch einigermaßen auf eine Arbeit konzentrieren, wenn es um Sie herum sehr laut ist?
- 5) Hatten Sie schon Ärger mit Ihren Nachbarn, weil diese ihren Fernseher zu laut eingestellt oder zu laute Musik gehört haben?
- 6) Können Sie nur schwer einschlafen, wenn Ihr Nachbar mal eine etwas laute "Fete" feiert?
- 7) Sind Sie auch dann noch für gesetzliche Maßnahmen gegen den Verkehrslärm, wenn Sie für ein leiseres Fahrzeug mehr Geld ausgeben müßten?
- 8) Können Sie (z. B. im Hotel) auch bei nächtlichem Verkehrslärm gut durchschlafen?

Statement	Schwierigkeitsindex s_i	Trennschärfekoeffizient r_{it}
1)	48.8	.76
2)	23.3	.58
3)	30.2	.45
4)	53.5	.60
5)	27.9	.61
6)	55.8	.69
7)	58.1	.42
8)	60.5	.76

Anlage 3: Psychische Befindlichkeit

Nachfolgend sind die zur Bildung der Testkennwerte verbliebenen Adjektive angegeben. Zusätzlich sind die Trennschärfekoeffizienten unter dem Kontrolltag und den Lärmbedingungen (60 dB(A)) aufgelistet.

Adjektive zur Dimension Müdigkeit versus körperliche Frische

Adjektiv	Trennschärfekoeffizient unter Kontrollbedingung	Trennschärfekoeffizient unter Lärmbedingung
Ich bin:		
1) wach	.83	.85
2) leistungsfähig	.82	.67
3) müde	.82	.85
4) unternehmungslustig	.66	.79
5) schläfrig	.84	.59
6) aktiv	.81	.84
7) munter	.79	.91
8) körperlich frisch	.88	.89

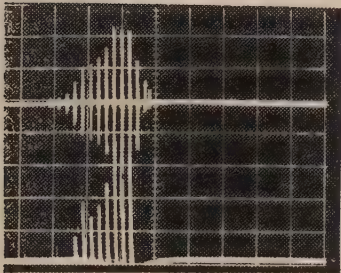
Adjektive zur Dimension Ausgeglichenheit versus psychische Gespanntheit

Adjektiv	Trennschärfekoeffizient unter Kontrollbedingung	Trennschärfekoeffizient unter Lärmbedingung
Ich bin:		
1) gelassen	.76	.73
2) reizbar	.63	.86
3) nervös	.53	.54
4) entspannt	.72	.67
5) ausgeglichen	.81	.78
6) unruhig	.76	.74

Anlage 4: Blutdruckmessung

Oszillographische Kontrolle der Blutdruckmessungen

a: Wiedergabe der Korotkoff-Geräusche

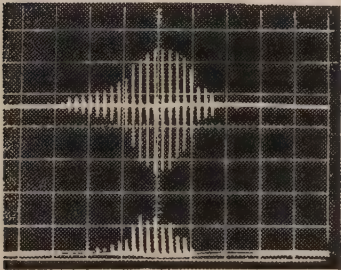


a

b: Anzeige der Trigger-Impulse
(vom Anhalten der p_s -Anzeige bis zum Anhalten der p_d -Anzeige)

Normaler Verlauf

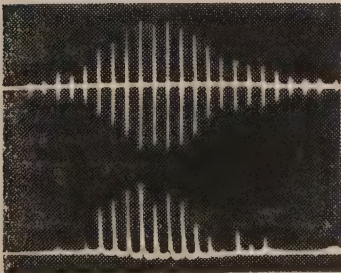
mit schnellem Anstieg und
sehr schnellem Abfall der
Lautstärken-Amplitude der
Korotkoff-Geräusche;
 p_s - und p_d -Anzeige akzeptabel.



a

Problematischer Verlauf

p_s -Anzeige problematisch
(bei langsamem Anstieg der
Lautstärken-Amplitude der
Korotkoff-Geräusche),
 p_d -Anzeige akzeptabel.



a

Problematischer Verlauf

p_s -Anzeige akzeptabel;
 p_d -Anzeige nicht akzeptabel
(bei zu langsamem Abfall
der Lautstärken-Amplitude
der Korotkoff-Geräusche).

Anlage 5: Korrelationsanalysen

Zusammenstellung ausgewählter signifikanter Korrelationen zwischen den Lärmwirkungsparametern der Feldstudie und den medizinischen Basiswerten.

1	2	3		4	
Lärmwirkungs- parameter	Medizinische Basiswerte	Gesamtgruppe		Lärmempfindl. Untergruppe	
		R	N	R	N
Δp_s	Lärm-Empf.	+ 0,40 ⁺	41	+ 0,54 ⁺	17
	EKG-QRS	+ 0,34 ⁺	39	+ 0,54 ⁺	16
$ \Delta p_s $	Lärm-Empf.	+ 0,30 ⁺	41	+ 0,73 ⁺⁺⁺	17
Δp_d	Gamma-Glob.	+ 0,45 ⁺⁺	37	+ 0,86 ⁺⁺⁺	16
	EKG-QRS	+ 0,32 ⁺	39	-	
	S-Harnsäure	-		+ 0,61 ⁺	15
ΔHF	EKG-QRS	+ 0,28 ⁽⁺⁾	38	+ 0,48 ⁽⁺⁾	16
	EKG-QT	+ 0,38 ⁺	38	-	
	S-Bilirubin	- 0,42 ⁺	38	-	
ΔA	E-Ca	- 0,57 ⁺⁺⁺	41	- 0,59 ⁺	17
	alkal. Phosphatase	+ 0,38 ⁺	37	+ 0,69 ⁺⁺	16
	Albumin	- 0,34 ⁺	37	-	
	GOT	+ 0,33 ⁺	33	-	
	GPT	+ 0,42 ⁺	35	-	
	S-Mg	-		+ 0,42 ⁽⁺⁾	17
	S-Cholesterin	-		+ 0,52 ⁺	15
	S-Thiocyanat	-		+ 0,63 ⁺	15
	S-Chlorid	-		- 0,57 ⁺	14

1	2	3	4
Δ c-AMP	S-Chlorid	+ 0,38 ⁺ 38	-
Δ U-Ca	E-Ca	- 0,35 ⁺ 40	- 0,55 ⁺ 17
Δ U-Mg	E-Ca	- 0,37 ⁺ 40	- 0,46 ⁽⁺⁾ 17
	Broca-Ind.	- 0,34 ⁺ 37	-
Δ Müdigkeit	Alter	- 0,51 ⁺⁺ 42	- 0,54 ⁺ 17
	S-Kreatinin	- 0,58 ⁺⁺⁺ 37	- 0,48 ⁽⁺⁾ 15
Δ Gespanntheit	Lärm-Empf.	+ 0,44 ⁺⁺ 42	-
	Alter	- 0,28 ⁽⁺⁾ 42	- 0,55 ⁺ 17
	S-Kreatinin	- 0,46 ⁺⁺ 37	- 0,47 15

Anlage 6: Korrelationsanalysen

Zusammenstellung ausgewählter signifikanter Korrelationen der medizinischen Basiswerte untereinander.

Medizinische Basiswerte		Gesamtgruppe	
		R	N
Lärm-Empf./S-Kreatinin		- 0,45 ⁺⁺	37
	/Gamma-GT	- 0,37 ⁺	32
	/GOT	- 0,39 ⁺	33
Alter	/S-Na	+ 0,44 ⁺	31
E-Mg	/S-Thiocyanat	+ 0,42 ⁺	36
	/Alpha 2-Glob.	+ 0,33 ⁺	37
	/EKG-QT	+ 0,40 ⁺⁺	38
S-Mg	/S-Harnsäure	- 0,37 ⁺	35
E-Ca	/S-Na	+ 0,43 ⁺⁺	41
	/alkal. Phosphatase	+ 0,38 ⁺	36
S-Ca	/S-K	+ 0,37 ⁺	41
	/S-Na	+ 0,34 ⁺	41
	/E-Mg	- 0,42 ⁺⁺	41
E-K	/S-K	+ 0,43 ⁺	39
	/Alpha 1-Glob.	+ 0,48 ⁺⁺	35
	/Alpha 2-Glob.	+ 0,34 ⁺	35

Anlage 7: Korrelationsanalysen

Zusammenstellung ausgewählter signifikanter Korrelationen zwischen den Lärmwirkungsparametern des Kurzzeithörtestes und den medizinischen Basiswerten.

Lärmwirkungs- parameter	Medizinische Basiswerte	Gesamtgruppe R	N
Δp_{SA}	Lärm-Empf.	- 0,32 ⁺	39
	S-Harnsäure	+ 0,53 ⁺⁺	35
	GOT	+ 0,41 ⁺	32
	Gamma-GT	+ 0,35 ⁽⁺⁾	32
	EKG-QT	+ 0,34 ⁺	38
	S-Mg	- 0,31 ⁽⁺⁾	37
Δp_{SE}	S-Mg	- 0,37 ⁺	37
Δp_{dA}	S-Chlorid	- 0,46 ⁺	30
	EKG-QT	- 0,30 ⁽⁺⁾	38
	E-Mg	+ 0,37 ⁺	37
Δp_{dE}	S-Chlorid	- 0,50 ⁺⁺	30
	E-Mg	+ 0,33 ⁺	37

Anlage 8: Abkürzungen

A	Adrenalin
Ca	Calcium
c-AMP	Cyklisches Adenosin 3':5' Monophosphat
E-	Erythrozyt-Wert
Gesp.	psychische Gespanntheit
HF	Herzfrequenz
L _{eq}	äquivalenter Dauerschallpegel
Lärm-Empf.	subjektive Lärmempfindlichkeit
Müd.	Müdigkeit
Mg	Magnesium
N	Anzahl der Versuchspersonen
NA	Noradrenalin
P _d , dia	diastolischer Blutdruck
P _s , sys	systolischer Blutdruck
P _{sA}	systolischer Blutdruck - Anfangswert
P _{sE}	systolischer Blutdruck - Endwert
R	Rangkoeffizient
RR	Blutdruck
S-	Serum-Wert
S-Mg ⁺⁺ , S-Mg	Serum-Magnesium-Konzentrationen
U-	Urin-Wert
Vpn	Versuchspersonen
VT	Versuchstag

DANKSAGUNG

Die vorliegende Arbeit wurde zwischen 1980 und 1981 im Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene im Bundesgesundheitsamt Berlin (BGA) durchgeführt.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr.-Ing. H. Ising (BGA) für die Überlassung des Themas sowie für seine intensive Betreuung während der Entstehung dieser Dissertation.

Herrn Prof. Dr. Th. Günther (Institut für Biochemie und Mikrobiologie der Freien Universität Berlin) danke ich sehr für seine Anregungen und Diskussionen im Verlaufe der Arbeit.

Für die freundliche Hilfe im Labor und am Rechner danke ich ebenfalls sehr Frau M. Haacke und Herrn W. Babisch (BGA).

Nicht zuletzt danke ich auch allen Mitarbeitern des Bundesgesundheitsamtes Berlin, die mich bei meiner Arbeit tatkräftig unterstützt haben.

L e b e n s l a u f

- 1943 Am 9. 12. in Oadby/Leicester (England) geboren.
- 1950 - 63 Besuch der Grundschule, Oberschule; Abitur.
- 1963 - 69 Studium der Informationstechnik an der Technischen Universität Dresden.
- 1969 Abschluß des Studiums mit dem akademischen Grad eines Diplom-Ingenieurs.
- 1970 - 75 Wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Bauakademie der DDR in Berlin.
- 1977 - 83 Studium der Humanmedizin an der Freien Universität Berlin.
- 1980 - 81 Medizinische Dissertation im Bundesgesundheitsamt Berlin.
- 1983 Approbation als Arzt.
- seit Oktober
1983 Assistenzarzt im DRK-Krankenhaus Jungfernheide-Berlin (Innere Abteilung).

